

## 平成 17 年度大学院前期課程入試試験問題

### 選択科目 b. システム制御

平成 16 年 8 月 24 日

#### 注意事項

- ・ 問題用紙は全部で 10 枚（但し、表紙を除く）あるので確認すること。
- ・ 解答には必ず問題番号を書き、どの問題に解答したかわかるようにすること。
- ・ 「制御工学」（問題 1 および 2）は全員が解答せよ。
- ・ 選択問題（問題 3～7）から 2 分野を選択して解答せよ。選択しなかった問題の解答用紙には×印を記して選択した問題が明確に分かるようにせよ。
- ・ 選択問題から 3 分野以上解答した場合には選択問題の解答を全て無効とするので注意せよ。
- ・ 「電気機器」を選択する者は（問題 3（3－1 および 3－2））を解答せよ。
- ・ 「パワーエレクトロニクス」を選択する者は（問題 4（4－1 および 4－2））を解答せよ。
- ・ 「信号処理」を選択する者は（問題 5）を解答せよ。
- ・ 「コンピュータ工学（ハードウェア）」を選択する者は（問題 6）を解答せよ。
- ・ 「コンピュータ工学（ソフトウェア）」を選択する者は（問題 7（7－1 および 7－2））を解答せよ。
- ・ 解答用紙は色分けしてあるので、問題番号と対応させて以下のように使い分けよ。（間違わないように注意せよ。）

問題番号	解答用紙の色
1 .....	白
2 .....	赤
3 .....	青（紺）
4 .....	黄
5 .....	水（薄い青）
6 .....	桃
7 .....	緑

- ・ 解答用紙の表に書き切れない場合は裏を使用しても良い。
- ・ 問題用紙は持ち帰っても良い。

## 制御工学

1. 次の状態方程式ならびに出力方程式のシステムに対して以下の間に答えよ.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + bu \\ y &= cx\end{aligned}$$

$$A = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}, c = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 \end{bmatrix}, x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

(i) 入力  $u$  から出力  $y$  までの伝達関数を求めよ.

(ii) 以下で与えられるシステムの可制御性, 可観測性を判定せよ.

$$A = \begin{bmatrix} -4 & 3 \\ 1 & -2 \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} -3 \\ 1 \end{bmatrix}, c = \begin{bmatrix} 2 & 1 \end{bmatrix}$$

(iii) 以下で与えられるシステムが不安定であることを示せ.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 4 \\ -2 & 6 \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, c = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}\alpha^2 & 2\alpha \end{bmatrix}$$

このシステムにフィードバック則  $u = -kx + r$  を適用することを考える. ここで,  $r$  は目標信号入力である.  $r$  から  $y$  への閉ループシステムの固有値が  $-2 \pm 4j$  ( $j$  は虚数単位) となるように状態フィードバックの係数ベクトル  $k = \begin{bmatrix} k_1 & k_2 \end{bmatrix}$  を定めよ.

(iv) (iii) のシステムにおいて状態フィードバックの係数ベクトル  $k$  を適当にとると, 閉ループシステムの伝達関数が以下ようになった. ( $\alpha > 0$ )

$$G(s) = \frac{2\alpha s + 2\alpha^2}{s^2 + 2\alpha s + 2\alpha^2}$$

係数ベクトル  $k$  を  $\alpha$  を用いて表せ.

(v) (iv) の閉ループシステムの目標入力として単位ステップ入力を印加した時の時間出力  $y(t)$  を求め, その概形を描け. (特に, 包絡線ならびに振動周期がわかるように描け.)

また, 最初のピーク値までの時間が  $\pi/8$  となるように  $\alpha$  の値を定めよ.

2. 図 2-1 のフィードバック制御系に対して、以下の問いに答えよ。

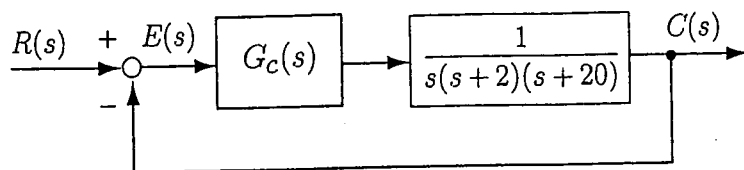


図 2-1

- (i)  $G_c(s) = K$  のとき、入力  $R$  から出力  $C$  までの伝達関数と入力  $R$  から偏差  $E$  までの伝達関数を求めよ。また、フィードバック系が安定となるようなゲイン  $K$  の値の範囲を求めよ。フィードバック系が安定であるとき、定常位置偏差（単位ステップ入力に対する定常偏差）、定常速度偏差（単位ランプ入力に対する定常偏差）、フィードバック系のゲイン余裕を求めよ。
- (ii)  $G_c(s) = K$  のとき、 $K$  の値を 0 から増加させたときのフィードバック系の根軌跡を描け。ただし、軌跡の開始点、実軸からの分岐点、虚軸を横切る点の座標や  $K \rightarrow \infty$  のときの漸近線は正しく記述すること。フィードバック系が支配極  $s = -2 \pm 2\sqrt{3}j$  を持つように（ $j$  は虚数単位）、ゲイン  $K$  の値を調節できるかどうかを述べよ。調節可能な場合は  $K$  の値を求め、不可能な場合はその理由を述べよ。
- (iii)  $G_c(s)$  として、位相進み補償器  $K(s+5)/(s+a)$  を用いる。フィードバック系が安定であるとき、定常速度偏差を  $a$ 、 $K$  を用いて表せ。フィードバック系が支配極  $s = -2 \pm 2\sqrt{3}j$  を持つように、 $a$ 、 $K$  の値を定めよ。ここで求めた  $a$  の値に対して、 $K$  の値を 0 から増加させたときのフィードバック系の根軌跡の概要を描け。
- (iv)  $G_c(s)$  として、位相進み・遅れ補償器  $\{K(s+5)(s+b)\} / \{(s+a)(s+c)\}$  を用いる。図 2-2(a) は、 $K$  の値を 0 から増加させて、フィードバック系の根軌跡を描いたものである。ただし、図で左の部分の軌跡は一部省略した。(b) の図は、(a) の原点近傍の拡大図である。 $b$ 、 $c$  の値と定常速度偏差を求めよ。ただし、 $a$  の値は前問と同じである。
- (v) 以上の結果をもとに、位相進み補償と位相遅れ補償の制御効果について説明せよ。

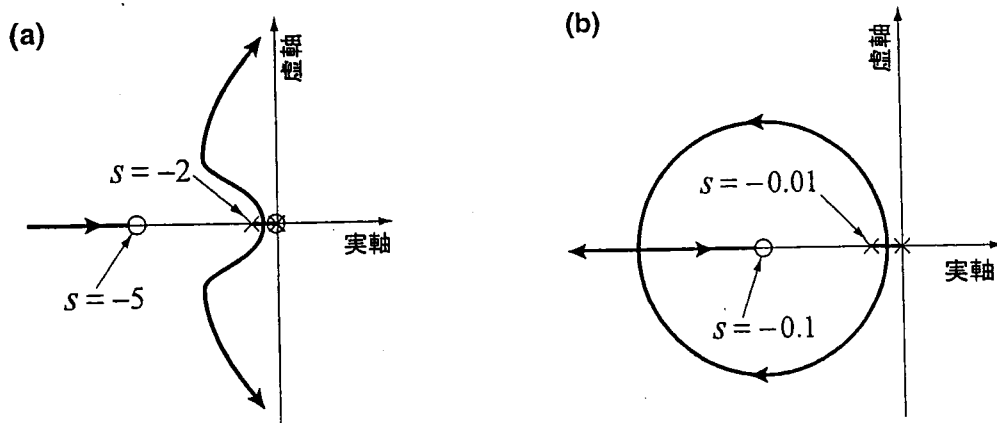


図 2-2

## 電 気 機 器

- 3-1 スリップリング付（巻線形）三相誘導電動機の回転子側の等価回路が図3-1で表されたとする。 $X_2$  は静止状態における回転子漏れリアクタンス、 $R_2$  は回転子抵抗、 $s$  はすべりをそれぞれ表している。ただし、すべての諸量は一相当りの値とする。以下の問いに答えよ。
- (i) 図3-1の回路諸量と二次側電流  $I_2$  を用いて、発生する機械的出力  $P$ （三相分）を表せ。
  - (ii) 図3-1の回路諸量と二次側誘導電圧  $E_2$  を用いて、 $I_2^2$  を表せ。
  - (iii)  $s$  と同期角速度  $\omega_s$ （機械角）を用いて回転角速度  $\omega_m$  を表せ。
  - (iv) 発生トルク  $T$ （三相分）を、問 (i), (ii), (iii) で求めた式を用いて、 $I_2$  を用いずに ( $I_2$  を消去して) 表せ。
  - (v) 誘導機の始動トルクが最大となる  $R_2$  の値を求めよ。
  - (vi) この誘導電動機が、同期速度 1500 rpm, 回転速度 1425 rpm で運転されているものとする。誘導電動機の回転速度が低下した状態でもトルクが一定になるように、二次回路に接続した抵抗を連続的に増加させるように制御する。回転速度が 1200 rpm に達したとき、挿入すべき一相当りの抵抗の大きさを求めよ。ただし、 $X_2$ ,  $R_2$  の大きさはそれぞれ  $2\ \Omega$ ,  $0.2\ \Omega$  であるとする。

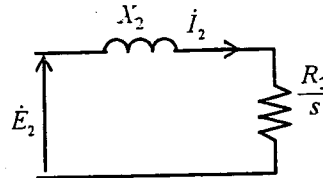


図 3-1

- 3-2 突極形三同期発電機について、以下の問いに答えよ。

ただし、無負荷誘導起電力を  $E_0$ , 端子電圧を  $V$ , 電機子電流を  $i$ , 直軸電流 ( $i$  の直軸成分) を  $i_d$ , 横軸電流 ( $i$  の横軸成分) を  $i_q$ , 直軸同期リアクタンスを  $X_d$ , 横軸同期リアクタンスを  $X_q$ , 電機子抵抗を  $R_a$ , 内部相差角を  $\delta$  とする。

- (i) 図3-2は突極機のベクトル図である。□内に適切な記号または式を入れてベクトル図を完成せよ。（注：答は解答用紙に記入のこと。）
- (ii) 発電機の三端子を短絡（三相短絡）した状態で持続的に電機子巻線に流れる電流は、 $R_a = 0$  の場合、□(5)である。□内に挿入すべき式を示せ。
- (iii)  $R_a = 0$  の場合の発電機の出力（三相分有効電力）は、 $E_0$ ,  $V$ ,  $X_d$ ,  $X_q$  および  $\delta$  を用いて、  

$$3 \times [ \text{□(6)} \times \sin \delta + \text{□(7)} \times \sin 2\delta ]$$
 で与えられる。□内に挿入すべき式を示せ。

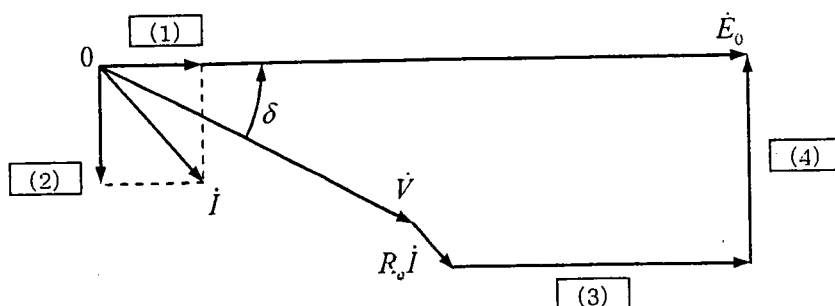


図 3-2

## パワーエレクトロニクス

4-1 図 4-1 に示す単相ブリッジ整流回路について以下の各問に答えよ。ただし、交流電源  $v$  は正弦波交流であり  $v = \sqrt{2}V \sin \omega t$  とし、直流インダクタ  $L$  は十分に大きく、直流電流  $i_d$  は平滑化されているものとする。また、サイリスタの制御は図 4-2 のとおりに行われるものとする。

- (i) リアクタンス  $X_s = 0$  のとき、直流電圧  $e_d$  の波形を示せ。
- (ii) 問 (i) で示した直流電圧  $e_d$  の平均値  $E_d$  (制御角  $\alpha$  の関数) を示せ。
- (iii) 負荷として  $5\Omega$  の抵抗を接続して定常状態で  $10A$  の電流が流れた。リアクタンス  $X_s = 0$ 、交流電源  $v$  の実効値が  $100V$  として、制御角  $\alpha$  を求めよ。
- (iv) 問 (iii) の運転状態での総合力率を求めよ。
- (v) 問 (iii) の運転状態での交流電流  $i$  の総合ひずみ率 (THD) を求めよ。
- (vi) リアクタンス  $X_s \neq 0$  のとき、直流電圧  $e_d$  の波形を示せ。

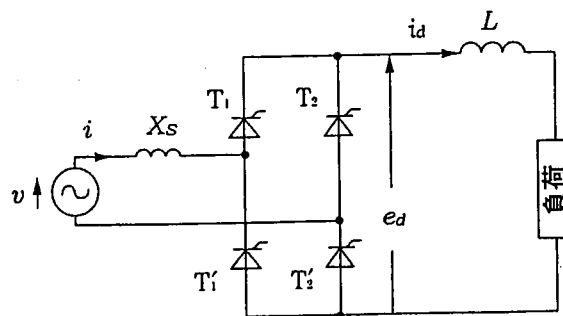


図 4-1

(a) 導通する  
サイリスタ

$T_1$	$T_2$	$T_1$
$T_2'$	$T_1'$	$T_2'$

(b) 交流電圧  
波形

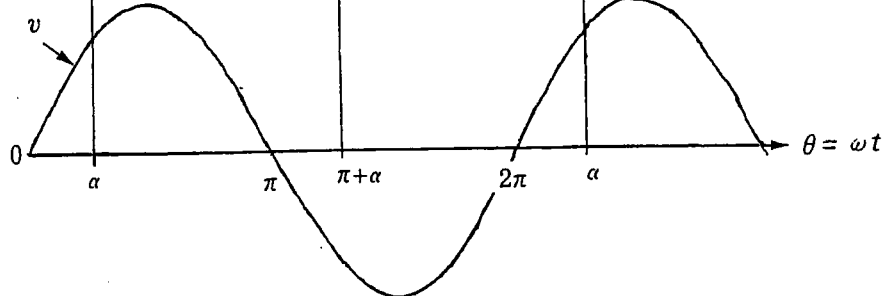


図 4-2

4-2 図4-3に示す単相自励式フルブリッジインバータについて以下の各問に答えよ。

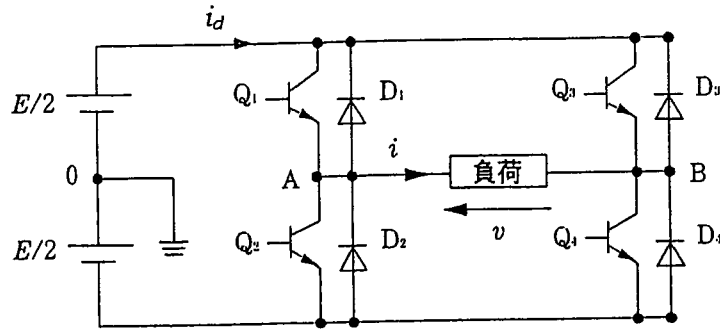


図 4-3

(i) 図4-4に示すような制御を行い、かつ負荷が誘導性負荷のとき、定常状態での負荷電流  $i$  の波形を、各時点で電流が流れている素子 ( $D_1, Q_1$  など) を併記して示せ。

オン信号を与えられたデバイス

A-O間電圧

B-O間電圧

出力電圧  $v$

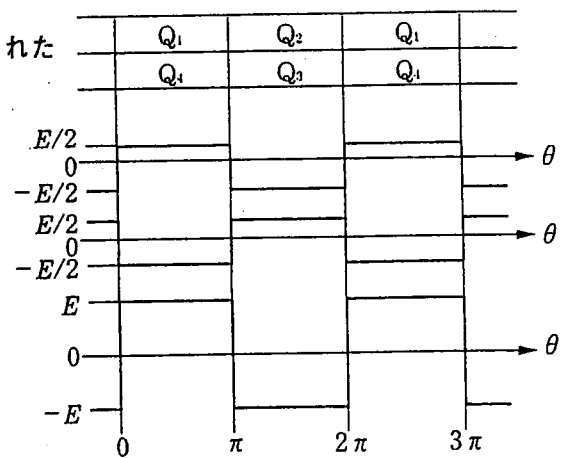


図 4-4

(ii) 図4-5に示すような制御を行うとき、出力電圧  $v$  の基本波実効値を求めよ。

(iii) 図4-5の制御方式を適用したインバータにおいて出力電圧  $v$  の3次高調波をゼロにしたい。どのように  $\gamma$  を制御すれば良いか。

(iv) 問(iii)の運転状態であつ、電源電圧  $E$  は200V、負荷は5Ωの抵抗のとき、次の値を求めよ。

- 負荷電流  $i$  の実効値
- 負荷電流  $i$  の基本波実効値
- 直流電源電流  $i_d$  の平均値

オン信号を与えられたデバイス

A-O間電圧

B-O間電圧

出力電圧  $v$

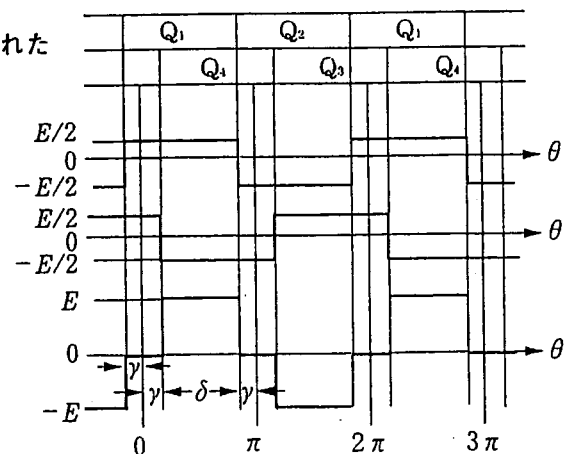
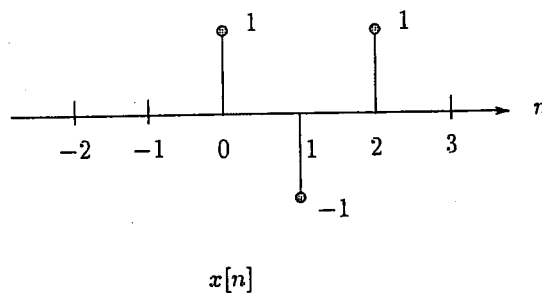


図 4-5

## 信号処理

5. 線形性と時不変性を有する離散時間信号処理システム  $L$  (単に線形時不変システムと呼ぶ) の入力信号, 出力信号を各々  $x[n]$ ,  $y[n]$ , ( $n$  は整数) とし,  $L$  の入出力関係を  $y[n] = L[x[n]]$  と表す. 以下の問いに答えよ.

- (i) 信号処理システム  $L$  の線形性および時不変性とはどのようなものか. それぞれの性質を数式を用いて説明せよ.
- (ii) インパルス応答  $h[n]$ , ( $n$  は整数) の定義を数式で表現せよ.
- (iii) 線形時不変システム  $L$  の出力信号  $y[n]$  が入力信号  $x[n]$  とインパルス応答  $h[n]$  のたたみ込みで表されることを導出せよ.
- (iv) 線形時不変システム  $L$  に対する  $x[n]$  を下図のように与え, かつ  $h[n] = x[n-1]$  であるとき,  $y[n]$  を  $z$  変換により求めよ.

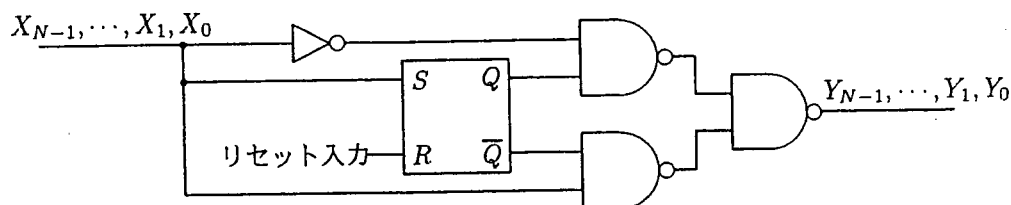


- (v) 線形時不変システム  $L$  をいかなる順で縦続接続しても同一出力となることを証明せよ.
- (vi) 線形時不変システム  $L$  が無記憶 (ある時刻における出力は同時刻の入力によってのみ決定される) であるときのインパルス応答  $h[n]$  が満たす条件を求めよ.
- (vii) 線形時不変システム  $L$  が因果的 (ある時刻における出力はその時刻またはその時刻以前の入力によってのみ決定される) であるときのインパルス応答  $h[n]$  が満たす条件を求めよ.

(11-25-12)

## コンピュータ工学 (ハードウェア)

6. 図に示された回路を考える. 最初にリセット入力が入り,  $SR$  フリップ・フロップの状態  $Q$  が0になった後,  $N$  個の入力  $X_0, X_1, X_2, \dots, X_{N-1}$  が入力され, それに応じて出力  $Y_0, Y_1, Y_2, \dots, Y_{N-1}$  が得られる. この回路の動作について以下の問いに答えよ.

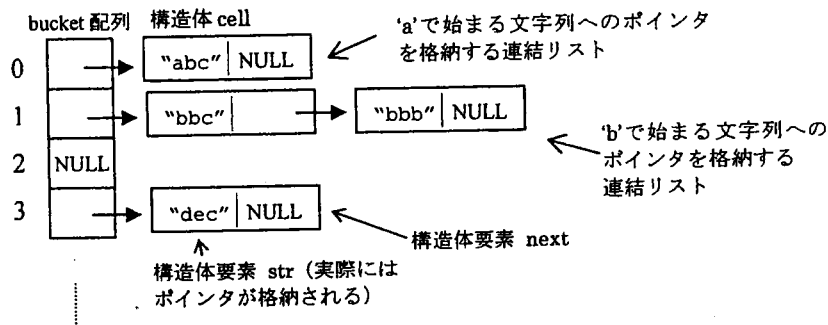


- (i)  $Y_i$  を  $X_i$  と  $Q$  を用いて表現せよ.
- (ii)  $Q = 0$  と  $Q = 1$  の場合について, それぞれ  $Y_i$  を  $X_i$  のみで表現せよ.
- (iii)  $X_i$  の入力後  $Q = 0$  であったとする.  $X_{i+1} = 0, X_{i+1} = 1$  の場合について, それぞれ  $X_{i+1}$  の入力後の  $Q$  の値を求めよ.
- (iv)  $X_i$  の入力後  $Q = 1$  であったとする.  $X_{i+1} = 0, X_{i+1} = 1$  の場合について, それぞれ  $X_{i+1}$  の入力後の  $Q$  の値を求めよ.
- (v) 以上の考察から,  $(X_0, X_1, \dots, X_9) = (0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 0)$  ( $N = 10$ ) と入力が増えられた場合について, その出力  $(Y_0, Y_1, \dots, Y_9)$  を求めよ.
- (vi) 一般に  $(X_0, X_1, \dots, X_{N-1})$  のうち, 最初の  $k$  個の入力  $X_0, X_1, \dots, X_{k-1}$  が 0 であり,  $X_k$  が 1 であるとする. この時の出力  $(Y_0, Y_1, \dots, Y_{N-1})$  を  $Y_0, \dots, Y_k$  と  $Y_{k+1}, \dots, Y_{N-1}$  に分けて求めよ.
- (vii) 各入力  $X_i$  ならびに各出力  $Y_i$  に対して  $2^i$  の重みをもたせ, それぞれ  $N$  桁の 2 進数とみなす. ただし,  $X_i$  ( $i = 0, 1, \dots, N-1$ ) のうち少なくとも 1 つは 1 であるとする. このとき入力  $(X_0, X_1, \dots, X_{N-1})$  と出力  $(Y_0, Y_1, \dots, Y_{N-1})$  との和  $K$  を 10 進数で表せ.
- (viii)  $N$  桁の 2 進数  $(X_0, X_1, \dots, X_{N-1})$  を上記の回路の出力  $(Y_0, Y_1, \dots, Y_{N-1})$  に変換する機能を有している計算機が存在するが, このような機能は通常どのような目的のために利用されるか述べよ.



## コンピュータ工学 (ソフトウェア)

7-1 プログラム A は文字列を複数の連結リストに格納するデータ構造 (バケットと呼ばれる) を実装したものである。文字列は固定長 K で英小文字 a, b, c, ..., z から構成され、同じ文字列はないものとし、文字列へのポインタが構造体 cell をノードとする連結リストに格納される。構造体 cell は、格納する文字列へのポインタ(str)と、次の cell へのポインタ(next)から構成される。文字列は先頭の文字によって、対応する連結リスト  $p_j$  ( $0 \leq j < 26$ , 'a'のとき  $j=0$ , 'b'のとき  $j=1$  ...とする) に格納される。連結リスト  $p_j$  の先頭ノードへのポインタは、下図の例のように、配列 bucket の要素 bucket[j] に格納される。つまり、文字列 str の先頭の文字が、例えば 'a'であれば bucket[0], 'b'であれば bucket[1]に格納されるポインタによって指し示されるノードを先頭とする連結リストに、文字列へのポインタが格納される。プログラム A を読み、以下の問いに答えよ。



### プログラム A

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define M 26 /* 文字種の数 */
#define K 3 /* 文字列の長さ (文字数) */
#define CI 0 /* 参照する文字の位置 (先頭が 0) */

struct cell {
    char *str;
    struct cell *next;
};

int main () {
    struct cell *bucket[M];
    int j;

    for (j=0; j<M; j++) (1);
    insert(bucket, "abc", CI); insert(bucket, "bbc", CI);
    insert(bucket, "aaq", CI); insert(bucket, "aaa", CI);
    insert(bucket, "ccd", CI);
    < A >
    delete(bucket, "aaq", CI);
    delete(bucket, "ccd", CI); insert(bucket, "acc", CI);
    < B >
}
```

```

/* 文字列 str を c 文字目に従って bucket に示される連結リストに入れる */
void insert(struct cell *bucket[], char *str, int c) {
    struct cell *newcell;
    int bi;

    bi = index(str, c);
    newcell = (struct cell *)malloc(sizeof(struct cell));
    newcell->str = str;
    (2);
    bucket[bi] = newcell;
    return;
}

/* 文字列 str を bucket から削除する */
void delete(struct cell *bucket[], char *str, int c) {
    int bi;
    struct cell *p,*q;

    bi = index(str, c);
    p = (3);
    q = NULL;
    while (p != NULL) {
        if (strcmp(p->str, str)==0) {
            if (q==NULL) (4);
            else (5);
            free(p);
            return;
        }
        q = p; p = p->next;
    }
}

/* 文字列 str を入れる bucket の番号 h (0<h<M) を返す */
int index(char *str, int c) {
    return (str[c] - 'a'); /* 文字のコードは連続しているものとする */
}

```

(i) <A>, <B>におけるバケットの状態を例のようにそれぞれ図示せよ。ただし, bucket[j] ( $0 \leq j < 4$ ) の範囲だけでよい。

(ii) プログラムA中の空欄 (1) から (5) を埋めよ。

7-2 プログラムA (main 関数を除く) にプログラムBを加えることで,  $n$  個の文字列を辞書順にソートするプログラムを以下のような考えで実現する。文字列へのポインタは配列  $s[j]$  ( $0 \leq j < n$ ) に格納されており, 固定長  $K$  の英子文字で構成されとする。まず文字列の最後の文字 ( $s[j][K-1]$ ) を参照して文字列をソートし, 次に  $s[j][K-2]$  についてソートするというように, 文字列の文字ごとにソートすることで文字列全体をソートする (一般に基数ソートと呼ばれる)。  $k$  文字目 ( $0 \leq k < K$ , 先頭文字を 0 文字目とする) に対するソートでは, 7-1 で実装したバケット構造を用いて, 7-1 では先頭の文字を参照して文字列を格納したが, ここでは  $k$  文字目 ( $s[j][k]$ ) を参照して文字列へのポインタをバケット構造に格納する。次に, bucket 配列を参照して連結リスト

をたどりながら文字列を順に取り出し、配列  $s$  に順に文字列へのポインタを格納する  
(バケットソートと呼ばれる)。以下の問いに答えよ。

#### プログラム B

```
#define N 50 /* 最大の要素数 (n<N であるとする) */

int main () {
    char *s[N]; /* ソートする対象の文字列 */

    s[0] = "aac"; s[1] = "abc"; s[2] = "aba";
    radixsort(s, 3);
}

/* n 個の文字列 s[i] (i<0<n) に対して基数ソートを行う */
void radixsort(char *s[], int n) {
    int k;

    for ( (6) ; k>=0; k--) {
        bucketsort(s, n, k);
    }
    return;
}

/* n 個の文字列 s[i] を, c 文字目 でソートする */
void bucketsort(char *s[], int n, int c) {
    struct cell *bucket[M], *p, *q;
    int i, j;

    for (j=0; j<M; j++) (1);
    for (j=0; j<n; j++) insert(bucket, s[j], c); /* プログラム A */
    (7);
    for (i=M-1; i>=0; i--) {
        p = (8);
        while ( (9) ) {
            (10); j=j-1; q = p->next; free(p); p=q;
        }
    }
    return;
}
```

- (i) プログラム B 中の空欄 (6) ~ (10) を埋めよ。ただし, (1) はプログラム A 中の (1) と同じであるので答える必要はない。
- (ii)  $k$  文字目のソートにおいて, バケット構造を参照して, 配列  $s$  に文字列を格納する際に,  $<C>$  の初期条件にあるように, 最後の要素  $bucket[M-1]$  から降順に取り出している。 $k$  を用いて, その理由を説明せよ。
- (iii) このソートの時間計算量のオーダーを求めよ。文字列の数を  $n$ , 文字列の長さ (文字数) を  $K$ , 文字の種類 (バケット数) を  $m$  として, これらを用いて表したオーダーと, その算出根拠を答えよ。