

平成 24 年度大学院博士前期課程入学試験

大阪大学大学院工学研究科 電気電子情報工学専攻

専門科目試験問題 (システム・制御・電力工学コース)

(実施時間 14:00 ~ 16:00)

【注 意 事 項】

1. 問題用紙は、この表紙を除いて 12 ページある。解答開始の指示があるまで開いてはいけない。解答開始後、落丁や不鮮明な箇所等があった場合は、手を挙げて監督者にその旨を伝えること。
2. 試験問題は、「制御工学 1」、「制御工学 2」、「パワーエレクトロニクスと電気機器」、「データ構造とアルゴリズム」、「論理回路と計算機システム」、及び、「信号処理」、の全部で 6 題あり、この順番に綴じられている。このうち、「制御工学 1」または「制御工学 2」のいずれか 1 題以上を含め、3 題を選択し解答すること。
3. 解答用紙は、試験問題毎に指定されている。解答は必ず指定された解答用紙に記入すること。解答用紙を間違えると、採点できない場合がある。
4. 選択した試験問題の解答に際しては、指定されている解答用紙の上部に試験問題名、志望コースおよび受験番号を記入した後、解答の記入を開始すること。
5. 解答が解答用紙の表面に書ききれない場合は、その用紙の裏面を使用してよい。ただし、その場合、裏面に記入がある旨を表面に記載すること。
6. 試験終了時まで、選択した 3 題の試験問題名を別紙「専門科目試験問題選択票」の該当箇所へ記入すること。
7. “選択しなかった”試験問題の解答用紙は、下書きや計算用紙として使用しても差し支えないが、配布された 6 枚の解答用紙は全て回収されるので、持ち帰ってはならない。
8. 試験が終了したら、(1)「専門科目試験問題選択票」に記入した試験問題の解答用紙 3 枚を番号の若い順に揃え、(2)選択しなかった試験問題の解答用紙を一つに重ね二つ折にした上、(3)「専門科目試験問題選択票」、番号順に揃えた 3 枚の解答用紙、及び、2 つ折にした残りの解答用紙をこの順番に重ねて、監督者の指示を待つこと。
9. 問題用紙は持ち帰ってもよい。

【制御工学 1】 解答は，白色 (1 番) の解答用紙に記入すること．

図 1 のブロック線図で表わされるシステムについて以下の問いに答えよ．ただし， K, a, b はいずれも定数である．なお， $R(s), C(s), X_1(s), X_2(s), X_3(s), X_4(s)$ はそれぞれ時間関数 $r(t), c(t), x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t)$ のラプラス変換を表わす．

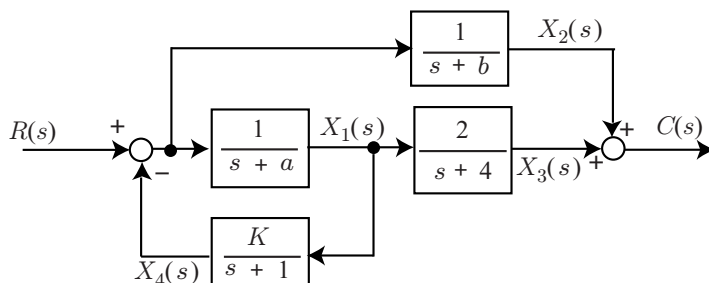


図 1

- (i) 入力 $R(s)$ から出力 $C(s)$ までの伝達関数を答えよ．
- (ii) 単位ステップ入力時の出力の収束値 $\lim_{t \rightarrow \infty} c(t)$ を答えよ．なお，システムは安定であるとする．
- (iii) $K = 1, a = 1, b = 2$ のときのインパルス応答 $c(t)$ を求め，その概形を描け．
- (iv) ゲイン余裕，位相余裕について説明せよ．
- (v) $x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t)$ を状態変数， $r(t)$ を入力変数， $c(t)$ を出力変数としたときの状態方程式ならびに出力方程式を答えよ．
- (vi) $a = b$ のときのシステムの可制御性を判別せよ．
- (vii) システムの極が $-10, -4, -2 \pm j3$ であった． K, a, b の値を答えよ．なお， j は虚数単位を表わす．
- (viii) $r(t) = -k_1 x_1(t) - k_2 x_2(t) - k_3 x_3(t) - k_4 x_4(t)$ とする状態フィードバックシステムの極が指定されたときのフィードバックゲインを求める手順を示せ．なお，図 1 のシステムは可制御であるとする．

専門用語の英訳

制御工学 1

ブロック線図	block diagram
ラプラス変換	Laplace transform
伝達関数	transfer function
単位ステップ入力	unit step input
安定である	stable
インパルス応答	impulse response
ゲイン余裕	gain margin
位相余裕	phase margin
状態変数	state variable
入力変数	input variable
出力変数	output variable
状態方程式	state equation
出力方程式	output equation
可制御	controllable
極	pole
フィードバック	feedback

【制御工学 2】 解答は，赤色（2 番）の解答用紙に記入すること．

以下の問いに答えよ．

- (i) トルク T で駆動される慣性モーメント J ，摩擦係数 B の回転体の振る舞いを表す運動方程式は，次式で表わされる．

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} = T$$

ただし， θ は回転角である．トルク T を入力，回転角 θ を出力とする伝達関数 $G(s)$ を求めよ．

- (ii) 問 (i) で求めた伝達関数 $G(s)$ のボード線図を描け．ただし，折点周波数等の特徴的な値を明示すること．ゲイン特性は折れ線近似でも良い．
- (iii) 図 1 に示す理想オペアンプを用いた補償器において，入力 e_i ，出力 e_o に対する伝達関数 $H(s)$ を求めよ．ただし，ゲイン A のオペアンプが出力する電圧 v_{out} は， $+$ ， $-$ 端子それぞれに印加された電圧 v_{in+} ， v_{in-} に対して $v_{out} = A(v_{in+} - v_{in-})$ のように与えられる．また，理想オペアンプのゲインと入力インピーダンスは無限大であるが，出力は有限である．

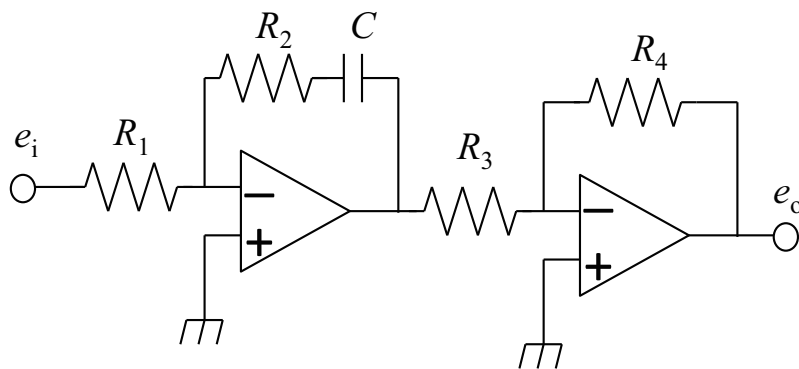


図 1

- (iv) 問 (i) の回転体と，問 (iii) の補償器を用いた，図 2 のブロック線図で表されるフィードバックによるサーボシステムを考える．このシステムの一巡伝達関数を求めよ．ただし $G(s)$ ， $H(s)$ は，それぞれ問 (i)，(iii) で求めたものを用いて示せ．

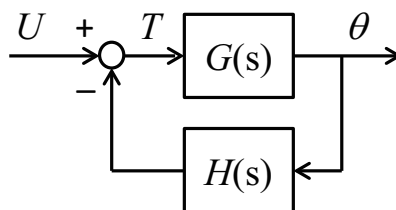


図 2

- (v) 問 (iv) のサーボシステムにおいて，与えられた回転体の J ， B および補償器の R_1 ， R_3 ， R_4 の値に対して，システムを安定とする C と R_2 の条件を求めよ．

専門用語の英訳

制御工学 2

運動方程式	equation of motion
伝達関数	transfer function
理想オペアンプ	ideal operational amplifier
ボード線図	Bode plot
折点周波数	corner frequency
折れ線近似	piecewise linear approximation
ブロック線図	block diagram
一巡伝達関数	open loop transfer function
安定	stable

【パワーエレクトロニクスと電気機器】 解答は、桃色(3番)の解答用紙に記入すること。

1. 図1に示す三相インバータシステムについて次の問いに答えよ。ただし、インバータは接地された中性点Oをもつ電圧 E の直流電圧源に接続されており、中性点Nをもつ対称三相負荷に電力を供給している。また $Q_1 \sim Q_6$ はIGBTを示し、 $D_1 \sim D_6$ はダイオードを示す。

(i) 図1(a)の回路に、図1(b)に示すオン信号を $Q_1 \sim Q_6$ に与えた。この場合のインバータ出力相電圧 v_{UO} 、線間電圧 v_{UV} 、負荷中性点Nと直流電圧源の中性点Oとの間の電圧 v_{NO} 、負荷相電圧 v_{UN} の波形をそれぞれ描け。ただし、動作モードI～VIとの対応が分かるように一周期(0～ 2π)以上の期間について描くこと。また各波形の振幅も図に示すこと。

(ii) 線間電圧 v_{UV} の基本波実効値を求めよ。

(iii) ダイオード $D_1 \sim D_6$ の役割を説明せよ。

(iv) 実際のIGBTのスイッチングは瞬時には行われない。そのために発生する問題とその対策について述べよ。

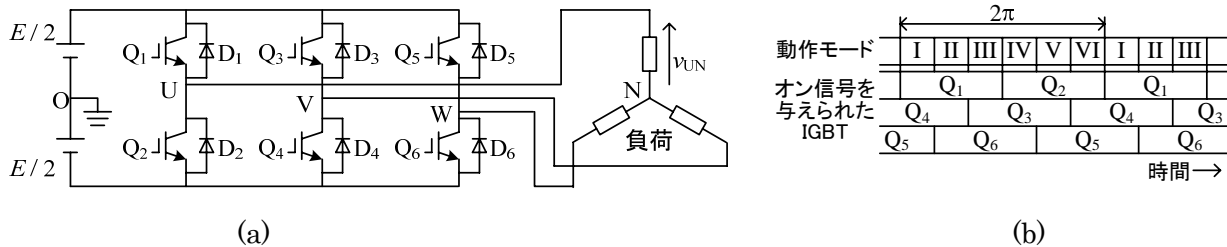


図1

2. 図2に示す平均長 l_1 、空隙の長さ l_2 、断面積 S 、透磁率 μ_s の磁性体について、次の問いに答えよ。

(i) 巻数 N の導線に電流 i を流すとき、磁性体中の磁束 ϕ を、 l_1 、 l_2 、 S 、 μ_s 、 μ_0 、 N 、 i を用いて表せ。ただし、 μ_0 は空隙部分の透磁率とし、漏れ磁束はないものとする。

(ii) 巻線に電流 $i = \sqrt{2}I \sin \omega t$ を流したとき、巻線に誘導される起電力 e の実効値 E を、 l_1 、 l_2 、 S 、 μ_s 、 μ_0 、 N 、 I 、 ω を用いて表せ。また巻線の自己インダクタンス L を、 l_1 、 l_2 、 S 、 μ_s 、 μ_0 、 N を用いて表せ。ただし、誘導起電力 e と磁束 ϕ の向きは図2に示す方向を正とし、巻線の抵抗はないものとする。

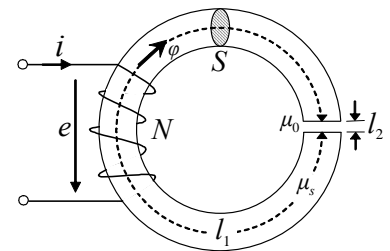


図2

3. 三相かご形誘導電動機について、次の問いに答えよ。

(i) 誘導電動機の回転子が拘束されているとき、二次誘導起電力の大きさは E_2 であった。この電動機をすべり s で回転させるとき、二次導体に流れる誘導電流の大きさ I_2 を、二次抵抗 r_2 、二次リアクタンス x_2 、 E_2 、 s を用いて表せ。

(ii) 電動機の機械的出力 P_0 (3相分)を、相数比 β 、 E_2 、 r_2 、 x_2 、 s を用いて表せ。

(iii) 電動機のトルク T (3相分)を、一次周波数 f 、極対数 p 、 β 、 E_2 、 r_2 、 x_2 、 s を用いて表せ。

専門用語の英訳

科目名 パワーエレクトロニクスと電気機器

中性点	neutral point
対称三相負荷	three-phase symmetrical load
オン信号	switching function
インバータ出力相電圧	inverter output phase voltage
線間電圧	line to line voltage
負荷相電圧	load phase voltage
波形	waveform
動作モード	operational mode
振幅	amplitude
基本波	fundamental wave, fundamental component
実効値	effective value, RMS(root mean square) value
空隙	gap
透磁率	magnetic permeability
磁性体	magnetic substance, magnetic material
巻数	number of turns
導線	conductor
磁束	magnetic flux
漏れ磁束	leakage magnetic flux
巻線	winding
自己インダクタンス	self-inductance
誘導起電力	induced electromotive force
三相かご形誘導電動機	three-phase squirrel cage induction motor
回転子	rotor
すべり	slip
誘導電流	induced current
二次抵抗	secondary resistance
二次リアクタンス	secondary reactance
機械的出力	mechanical output
相数比	phase ratio from rotor to stator
トルク	torque
一次周波数	primary frequency
極対数	number of pole pairs

【データ構造とアルゴリズム】解答は，青色（4 番）の解答用紙に記入すること．

1. 図 1 で表されるような連結リストを用いたプログラム A が以下のように与えられている．このプログラムについて以下の問いに答えよ．

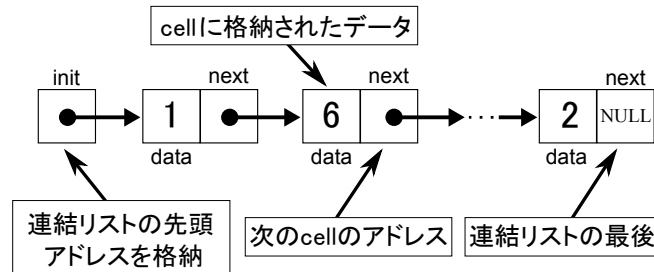


図 1

- (i) insert 関数は，連結リストの先頭に新しい cell を挿入する関数である．この関数内の空欄【 1 】，【 2 】を埋めてプログラムを完成させよ．
- (ii) プログラム実行時の出力結果を示せ．

プログラム A

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define N 9

struct cell { /* 連結リストを構成する要素のための構造体 cell*/
    int data; /* cell に格納するデータ */
    struct cell *next; /* 次の cell へのポインタ */
};

/* 連結リストのデータを表示する関数 */
void showcell(struct cell *init){
    struct cell *q;
    for(q=init; q->next!=NULL; q=q->next) printf("%d->", q->data);
    printf("%d\n", q->data);
}

/* 連結リストの先頭にデータ x を格納する新しい cell を追加 */
struct cell *insert(int x, struct cell *init){
    struct cell *r;
    r=(struct cell *)malloc(sizeof(struct cell) );
    r->next=【 1 】; r->data=【 2 】;
    return r;
}

int main(){
    struct cell *init=NULL;
    int i, a[N] = {12, 3, 4, 2, 9, 23, 11, 1, 8};
    for(i=0; i<N; i++) init=insert(a[i], init);
    showcell(init);
    return 0;
}
```


2. 問 1 のプログラム A に , 2 つの関数 `merge`, `mergesort` を加え , `main` 関数を置き換えることで , 連結リストを昇順にマージソートするプログラム B を考える . このプログラムについて以下の問いに答えよ .
- (i) `mergesort` 関数は , 自分自身を呼び出す構造となっている . このような構造を何と呼ぶか答えよ .
 - (ii) プログラム中の空欄【 3 】 ~ 【 6 】を埋めよ . ただし , 同じ番号の空欄には同一内容が入る .
 - (iii) プログラム実行時の出力結果を示せ .
 - (iv) プログラムにおいて , `merge` 関数が最後に呼び出される直前の `< >` での , `r` と `s` の各々を先頭アドレスとする連結リストを , 図 1 を参考にして図示せよ . なお , このとき , 引数 `n` には $N(=9)$ が代入されていることに注意すること .
 - (v) M 個のデータにマージソートを適用したときの最悪時間計算量のオーダーを答えよ . また , その算出根拠を答えよ .

プログラム B

```
/* a, bの各々を先頭アドレスとする2つのソート済の連結リストをマージする関数 */
struct cell *merge(struct cell *a, struct cell *b){
    struct cell head; /* 新規作成する連結リストの先頭アドレス格納用の cell */
    struct cell *x; /* 作業用の cell へのポインタ変数 */
    x=&head;

    /* 2つの連結リストの cell を, データの昇順に新しい連結リストへ追加 */
    while((a!=NULL) && (b!=NULL)){
        if(a->data < b->data){
            x->next=【 3 】; 【 3 】=【 3 】->next; x = x->next;
        }else{
            x->next=【 4 】; 【 4 】=【 4 】->next; x = x->next;
        }
    }
    if(a!=NULL){ /* 一方の連結リストに残った cell を新規連結リストに追加 */
        x->next=a;
    }else{
        x->next=b;
    }
    return head.next; /* 新規連結リストの先頭アドレスを返す */
}

/* p を先頭アドレスとする, 要素 (cell) の数が n の連結リストをマージソート */
struct cell *mergesort(struct cell *p, int n){
    struct cell *r, *s;
    int i, m=n/2;

    if(n==1) return p; /* リストの要素 (cell) が一つの場合は終了 */

    /* 連結リストの中央付近の cell を選択 */
    for(r=p, i=1; i<m; r=r->next, i++);
    /* 連結リストを前半と後半の2つに分ける */
    s=r->next; /* s は後半の連結リストの先頭アドレス */
    r->next=NULL; /* 前半の連結リストの最後に NULL を代入 */

    printf("%d:%d-%d\n", n, i, n-i);
    r=mergesort(【 5 】, i); /* 前半の連結リストをマージソートする */
    s=mergesort(【 6 】, n-i); /* 後半の連結リストをマージソートする */
    /* < > */
    return merge(r, s); /* マージした連結リストの先頭アドレスを返す */
}

int main(){
    struct cell *init=NULL;
    int i, a[N] = {12, 3, 4, 2, 9, 23, 11, 1, 8};

    for(i=0; i<N; i++) init=insert(a[i], init);
    init=mergesort(init, N);
    return 0;
}
```

専門用語の英訳

データ構造とアルゴリズム

連結リスト	linked list
プログラム	program
アドレス	address
関数	function
構造体	structure
データ	data
ポインタ	pointer
昇順	ascending order
マージソート	merge sort
引数	argument
オーダー	order
最悪時間計算量	worst-case time-complexity

【論理回路と計算機システム】 解答は、水色(5 番)の解答用紙に記入すること。

1. 正極性エッジトリガ型 D フリップフロップ (以下では, D-FF と呼ぶ) について考える. 図 1 のように結線した D-FF の出力 Q のタイムチャートを示せ. なお, 出力の初期状態は $Q = 0$ とし, タイムチャートは図 2 を解答用紙に転記した上で, 出力 Q と $D (= \overline{Q})$ について加筆して示すこと. なお, CK はクロックパルスを, CLR は 0 を入力すると出力 Q を 0 にクリアする負論理の端子を表す.

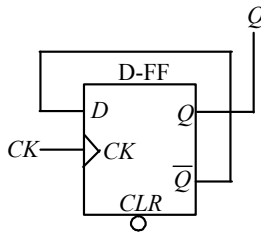


図 1

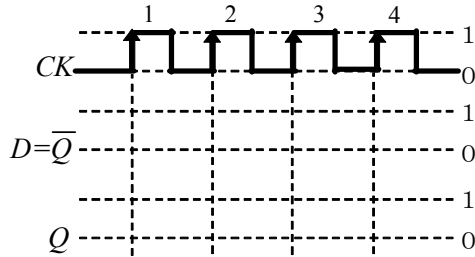


図 2

2. 入力された CK の数を 1 つずつ数える回路 (このような回路をカウンタと呼ぶ) を複数の D-FF を用いて非同期式で構成することを考える. 入力された CK の数を, n 個の D-FF の出力 Q を用いた 2 進数 $Z = (Q_n \dots Q_2 Q_1)$ で表す (n は自然数) こととする. このとき, 以下の問いに答えよ.
- CK の入力した数を 10 進数で 0 から 10 まで数えることができるカウンタを構成するために必要な D-FF の数を求めよ.
 - 10 個目の CK の入力で全ての出力がクリアされるとしたとき, このカウンタの真理値表を CK の個数が 0 から 10 まで (10 を含む) の範囲で示せ.
 - 問い(ii)の真理値表で示したカウンタの回路図を示せ. ただし, D-FF は図 1 と同じ論理図記号を用いて表すこと. また出力 $Q_1 \dots Q_n$ の初期状態はすべて 0 とする. なお, 解となる回路構成が複数存在する場合には, その 1 つを示せばよい.
3. 多段接続したフリップフロップ内のデータを順次右または左に移す (シフトする) ことができる回路をシフトレジスタと呼ぶ. D-FF を用いたシフトレジスタの構成に関する以下の問いに答えよ.
- D-FF を用いて構成した 3 ビットシフトレジスタの回路図を示せ. ただし, CK に同期して時間的に順次入力されるシリアル入力を S_m , 出力 Q を入力に近い D-FF から順に Q_1, Q_2, Q_3 とし, S_m を Q_1, Q_2, Q_3 の順にシフトさせること. また, D-FF は図 1 と同じ論理図記号を用いて表すこと. 出力 Q_1, Q_2, Q_3 の初期状態はすべて 0 とする. なお, 解となる回路構成が複数存在する場合には, その 1 つを示せばよい.
 - 問い(i)で示したシフトレジスタの回路において, 最終段の D-FF の出力 Q_3 を最前段の D-FF の入力 S_m に帰還する回路を考える. この回路において, 全ての D-FF の出力 Q_1, Q_2, Q_3 を 0 にクリアした後, $Q_1=1$ にセットして CK を順次入力したときの真理値表を CK の個数が 0 から 5 まで (5 を含む) の範囲で示せ.
4. 10 進数と 10 進数の乗算を, 2 進数と 2 進数の乗算で行うことを考える. 以下の問いに答えよ. なお, $(x_{m-1}x_{m-2} \dots x_0)_r$ は正の整数を m 桁の r 進数で表現したものであることを表す.
- 正の整数の n ビット 2 進数 $A = (a_{n-1}a_{n-2} \dots a_0)_2$ と $B = (b_{n-1}b_{n-2} \dots b_0)_2$ の乗算 $A \times B$ において, 乗数 B の i ビット目の値を b_i ($0 \leq i < n$) とする. この乗算が, i を 0 から始めて b_i と被乗数 A の部分積 $b_i A$ を 1 ビットずつ左にシフトさせて加算することの繰り返しにより実行できる (これを繰り返し型乗算方式と呼ぶ) ことを示せ.
 - $(357)_{10} \times (245)_{10}$ の乗算を, 問い(i)で示した 2 進数同士の繰り返し型乗算方式で計算せよ. なお, 計算途中の式も省略せずに解答用紙に記入し, 乗算の結果は 2 進数と 10 進数の両方で示すこと.
 - 2 進数のシフト演算および 2 進数同士の加算演算に要する時間をそれぞれ, 1 ns および 10 ns とする. このとき, $(357)_{10} \times (245)_{10}$ および $(488)_{10} \times (501)_{10}$ の乗算を, 2 進数同士の繰り返し型乗算方式で行ったときに要する時間をそれぞれ求めよ. シフト演算と加算演算の回数は乗数に応じた最小の回数とすること. なお, 乗数が $(1)_2$ の場合の加算演算回数は 1 回とする.
 - 計算機が乗算に要する時間を短縮するために, 演算システムの設計上で解決すべき課題を 2 点述べ, それぞれ代表的な解決手法の例を 1 つずつ挙げよ.

【信号処理】 解答は, 黄色の解答用紙(6 番)に記入すること.

1. 信号処理システムに関する以下の問いに答えよ.

- (i) 信号処理システムの ①記憶性, ②因果性, ③安定性, ④時不変性, ⑤線形性 をそれぞれ説明せよ.
- (ii) 単位時間の遅延素子 D について, (i) の各性質の有無を調べよ. ただし, 必要に応じて性質の有無だけではなく, その理由も示すこと.
- (iii) 単位時間の遅延素子 D を用いた図 1 に示すフィードバックシステムについて, 入力信号 $x[n]$ と出力信号 $y[n]$ の関係を z 変換し, 更に周波数応答を求めよ.

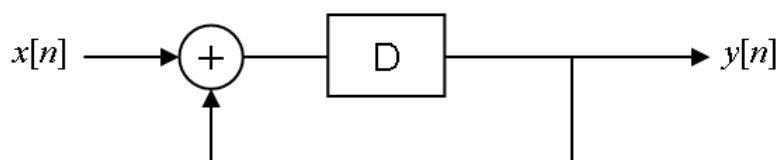


図 1 フィードバックシステム

2. 窓関数に関する以下の問いに答えよ.

- (i) フーリエ解析で窓関数が必要な理由を説明せよ.
- (ii) 代表的な窓関数のひとつであるハニング窓の離散時間フーリエ変換を, 矩形窓の離散時間フーリエ変換 $W(\Omega)$ で表せ. ただし Ω は角周波数であり, ハニング窓は

$$w_{HN}[n] = \begin{cases} \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos\left(\frac{2\pi n}{M}\right) & : 0 \leq n < M \text{ のとき. ただし } n, M \text{ は整数.} \\ 0 & : \text{上記以外のとき.} \end{cases}$$

で表される.