

平成17年度 京都大学大学院情報学研究科  
修士課程 通信情報システム専攻入学資格試験問題

専門基礎B

**I群問題**

平成16年8月9日(月)9:00－12:00

**注意**

1. 解答開始の合図があるまで中を見てはいけない。
2. 「I群」および「II群」の2種類の問題が用意されている。いずれかの群の問題のみを解答すること。両群の問題を解答した場合、専門基礎Bの得点は0点とする。
3. これは「専門基礎B I群」の問題用紙で、表紙共に8枚ある。解答開始の合図があった後、枚数を確認、落丁または不鮮明なものがあれば直ちに申し出ること。
4. 問題は6問(BI-1, BI-2, BI-3, BI-4, BI-5, BI-6)ある。4問を選択して解答すること。  
答案用紙の問題番号欄に問題番号を記入すること。
5. 解答は問題ごとに答案用紙1枚を使うこと。答案用紙1枚に2問以上の解答もしくは1問の解答を2枚以上の答案用紙に書いた場合は無効にすることがある。なお、必要な場合「裏に続く」と明記した上で裏面を使用してもよい。
6. 答案用紙は4枚綴じたまま使用し、切り離さないこと。
7. 答案用紙の綴じ込みがはずれた場合は、直ちに申し出ること。
8. 解答は日本語で行うこと。

専門基礎B BI-1, BI-2, BI-3, BI-4, BI-5, BI-6 の 6 問から 4 問を選択して解答せよ。

BI-1

以下の問に答えよ。

(1) PSK 変調(modulation)に関する以下の問に答えよ。

- (a) PSK を用いた情報伝送では、送信側で差動符号化(differential encoding)が行われる場合が多い。同期検波(coherent detection)ならびに遅延検波(differential detection)に分けて差動符号化が行われる理由について簡潔に述べよ。
- (b) 位相変調信号  $\cos(\omega t + \phi(t))$  の位相変化量  $(\phi(t) - \phi(t-T))$  が 0 あるいは  $\pi$  に設定された BPSK (Binary PSK) 信号の遅延検波の原理について、ブロック図および数式を用いて簡潔に説明せよ。ただし  $T$  はシンボル間隔である。
- (c) 同様に位相変化量  $(\phi(t) - \phi(t-T))$  が  $\pm \pi/4$ ,  $\pm 3\pi/4$  に設定された QPSK (Quaternary PSK) 信号 ( $\pi/4$  シフト QPSK と呼ばれる) の遅延検波の原理について簡潔に説明せよ。
- (d) オフセット QPSK (offset QPSK) 変調の原理ならびにその特徴について簡潔に説明せよ。

(2) 以下の 4 つの用語の中から 3 つを選び、それらについて簡潔に説明せよ。

- (a) ポアソン到着 (Poisson arrival)
- (b) p-persistent CSMA
- (c) トークン・リング (token ring)
- (d) OSI (Open Systems Interconnection)

# BI-2

(1) 下に記した信号の周波数スペクトラム(frequency spectrum)を求め、各々図示せよ。

但し、(b)では $\phi=0$ として図示せよ。

$$(a) f_1(t) = \begin{cases} 1 & -\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2} \\ 0 & t < -\frac{T}{2}, t > \frac{T}{2} \end{cases}$$

$$(b) f_2(t) = \begin{cases} \cos(\omega_0 t + \phi) & -\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2} \\ 0 & t < -\frac{T}{2}, t > \frac{T}{2} \end{cases}$$

(2) 次式で示される直交振幅変調(QAM; Quadrature Amplitude Modulation)について  
以下の各問に答えよ。

$$S(t) = A(t)\cos\omega_0 t + B(t)\sin\omega_0 t$$

$\omega_0$ ; 搬送波 (carrier)の角周波数 (angular frequency)

- (a)  $B(t) = 0$  のとき、 $S(t)$  は別の名称で呼ばれる変調方式 (modulation scheme)となる。その名称を答えよ。
- (b)  $B(t)$  が  $A(t)$  を  $90^\circ$  位相シフト (phase shift)した信号であるとき、 $S(t)$  は別の名称で呼ばれる変調方式となる。その名称を答えよ。
- (c) 乗積回路 (DBM; Double Balanced Mixer)を用いた QAM 変調器 (modulator)及び復調器 (demodulator)のブロックダイアグラム (block diagram)を示し、 $A(t)$ 、 $B(t)$ が独立 (independent)に伝送できることを説明せよ。
- (d)  $A(t)$ 、 $B(t)$  がタイミングの揃った $\pm 1$ の値をとる独立の NRZ (Non Return to Zero) パルス波形 (pulse waveform) であるとき、 $S(t)$  は4相位相変調波 (4-phase shift keying) と等価であることを示せ。また同期検波 (coherent detection)のための参照搬送波 (reference carrier) に位相誤差 (phase error) がある場合について考察せよ。

# BI-3

図(a)に示すような直接遷移型 (direct transition) 半導体の光物性と半導体レーザに関して以下の設問に答えよ。ただし、 1  -  5 には適当な式を入れ、 6 -  17 はア、イから選択せよ。

(1) 光の吸収と誘導放出 (stimulated emission) に関して考えてみよう。

(a) 吸収の起こりやすさは、吸収割合 (absorption rate) すなわち入射光子が吸収により単位時間あたりに消滅する割合として記述することができる。

まず、吸収割合は伝導帯 (conduction band) の電子数が少ないほど大きくなる。したがって、 $E_1$ における伝導帯の状態密度 (density of states) の値を $\rho_c(E_1)$ とし、フェルミディラックの分布関数 (Fermi-Dirac distribution function) の値を $f_c(E_1)$ とすると、吸収割合は  1 に比例することになる。ここで、 $E_1$ は伝導帯電子のエネルギーを示す。

一方、吸収割合は価電子帯 (valence band) の電子数が多いほど大きくなる。したがって、価電子帯の状態密度の値を $\rho_v(E_2)$ とし、フェルミディラックの分布関数の値を $f_v(E_2)$ とすると、吸収割合は  2 に比例することになる。ここで、 $E_2$ は価電子帯電子のエネルギーを示す。

さらに、吸収割合は、光子が入射したとき電子が遷移しやすいかどうかを表す遷移確率にも比例する。その比例係数を $W$ として、結局、吸収割合は、 1,  2,  $W$ の積、つまり  3 と表すことができる。

(b) 次に光の誘導放出に関して考える。前問と同様に考えると、誘導放出割合は、 $\rho_c(E_1)$ ,  $f_c(E_1)$ ,  $\rho_v(E_2)$ ,  $f_v(E_2)$ ,  $W$ を用いて  4 と表すことができる。吸収と誘導放出で比例係数 $W$ が等しくなることは、アインシュタインによって導かれている。

(c) 正味の誘導放出割合は  4 と  3 の差であり、 5 となる。

(2) 半導体における光利得 (optical gain) の形成について考察する。光利得係数は単位長さあたりの光強度の増幅率を表し、正味の誘導放出割合  5 に比例する量である。

(a) まず、注入キャリア密度が少ない場合、伝導帯の擬フェルミ準位 (quasi Fermi level) は伝導帯の底よりもエネルギー的に  6 {ア. 低い, イ. 高い} 位置にあり、したがって、伝導帯電子に関しては  $f_c$  は  7 {ア. 0, イ. 1} とみなせる。価電子帯に関しては、擬フェルミ準位は価電子帯頂上よりもエネルギー的に  8 {ア. 低い, イ. 高い} 位置にあり、したがって、価電子帯に関しては  $f_v$  は  9 {ア. 0, イ. 1} とみなせる。これより、注入キャリア密

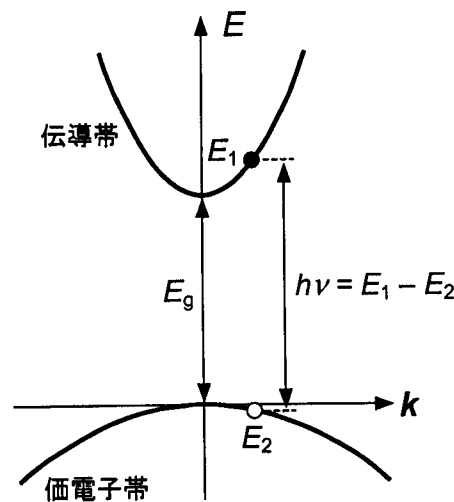
次頁に続く

度が小さいときは、光利得係数は  $10 \{ \text{ア. 正, イ. 負} \}$  の値となり、光の  $11 \{ \text{ア. 増幅, イ. 吸収} \}$  が起こることになる。

一方、注入キャリア密度を増すに従って、擬フェルミ準位の位置が、伝導帯に関してはエネルギー的に  $12 \{ \text{ア. 低い, イ. 高い} \}$  方に移動し、価電子帯に関してはエネルギー的に  $13 \{ \text{ア. 低い, イ. 高い} \}$  方に移動する。その結果として、 $f_c$  が  $14 \{ \text{ア. 0, イ. 1} \}$ 、 $f_v$  が  $15 \{ \text{ア. 0, イ. 1} \}$  に近付けば、光利得係数は  $16 \{ \text{ア. 正, イ. 負} \}$  の値となり、光の  $17 \{ \text{ア. 増幅, イ. 吸収} \}$  が起こる。

(b)  $5$  と問(2)(a)を参考に、いくつかの注入キャリア密度に対して、光利得係数を光子エネルギーの関数として、その概形を図示し、その特徴を述べよ。

(3) 実際の半導体レーザでは、レーザ媒質である半導体を 光共振器 (optical cavity) ではさんだ構造をとる。レーザ発振の条件、およびそのときの発振波長について、利得、内部損失 (internal loss), 共振器損失 (cavity loss), 共振器長 (cavity length) をキーワードとして論じよ。



図(a): 波数 ( $k$ ) 空間における直接遷移型半導体のエネルギーバンド図。光子のエネルギー  $h\nu$  は  $E_1 - E_2$  に等しい。

## BI-4

次の各問に答えよ。

- (1) Maxwell の 4 つの方程式を示し、そのうち 2 つの式が他の 2 つの式から導けることを示せ。
- (2) 一様な電界  $Ee^{j\omega t}$  の中に置かれた**実効長** (effective length)  $l$  のアンテナに誘起される**開放電圧** (open-circuit voltage) は  $V = |E|le^{j\omega t}$  で与えられる。このとき以下の問に答えよ。
  - (a) このアンテナに**整合負荷** (matched load) を接続したとき消費される電力を、**放射抵抗** (radiation resistance)  $R_r$  を用いて表せ。
  - (b) アンテナの**有効開口面積** (effective area) を  $l$  と  $R_r$  を用いて表せ。
- (3) 同一のアンテナを距離  $D$  を隔てて送信および受信に用いる場合について、以下の問に答えよ。
  - (a) **伝搬路** (propagation path) が**自由空間** (free space) であるとき、送信電力と受信電力の関係を与える式を示せ。
  - (b) このアンテナの有効開口面積が周波数によらず一定であるとする。距離を  $2D$  に変えたとき、 $D$  の場合と同じ送信電力に対して同じ受信電力を得るためには周波数をどのように変えればよいか。
  - (c) 送受信アンテナを、共に**反射率** (reflectivity) が  $-1$  の平面大地から  $h$  ( $\ll D$ ) の高さに置いたとき、自由空間の場合と同じ送信電力に対して同じ受信電力を得るために必要な  $D$  と  $h$  の関係を求めよ。

## BI-5

1 ビットの信号  $x$  を入力とし、1 ビットの信号  $z$  を出力とする Mealy 型 同期式順序回路 (synchronous sequential circuit) を設計する。この回路は、最近の 3 入力以内に 1 が 2 回以上含まれる場合にのみ 1 を出力し、それ以外の場合には 0 を出力する。例えば、0101101 が入力された場合の出力は 0001111 である。

以下の各問に答えよ。

- (1) この回路の動作を表す 状態遷移図 (state transition diagram) を書け。
- (2) 状態数 (number of states) を最小化した 状態遷移表 (state transition table) と 出力表 (output table) を求めよ。また、求めた状態遷移表と出力表に基づき、101100 が入力された場合の状態遷移の様子を説明し、出力が 001110 となることを示せ。
- (3) この回路を最も少ない数の D フリップフロップ (D flip-flop) を用いて実現する。状態割当て (state assignment) にあたり、動作開始時の状態には全て 0 を割当てよ。フリップフロップの出力を表す論理変数を  $q$ 、入力を表す論理変数を  $d$  として、各フリップフロップは添字で区別する。添字は、状態に割当てた符号の左端ビットから 1, 2, とふるものとする。すなわち、状態の左端ビットに対応するフリップフロップの出力は  $q_1$  であり、入力は  $d_1$  である。また、各フリップフロップの出力には  $q$  と  $\bar{q}$  が、入力には  $x$  と  $\bar{x}$  が与えられるものとする。

以下の各問に答えよ。

- (a) 各フリップフロップの入力を与える論理関数の 最小積和形表現 (minimum sum-of-products form) を求めよ。
- (b) 出力  $z$  を与える論理関数の最小積和形表現を求めよ。
- (c) 出力  $z$  を与える論理関数の 最小和積形表現 (minimum product-of-sums form) を求めよ。
- (d) 出力  $z$  を与える回路を、NOT ゲート、2 入力 NAND ゲート、3 入力 NAND ゲートのみを用いて、最小のゲート数で実現せよ。
- (e) 出力  $z$  を与える回路を、NOT ゲート、2 入力 NOR ゲート、3 入力 NOR ゲートのみを用いて、最小のゲート数で実現せよ。

# BI-6

以下の2問すべてに答えよ。

(1) 以下の問に答えよ。

- (a) 次の2進数の1の補数(one's complement)と2の補数(two's complement)を求めよ。  
但し、MSD(most significant digit)は符号であり、0は+、1は-を表すものとする。

(i) 011011                      (ii) 0.1101                      (iii) 0101.101

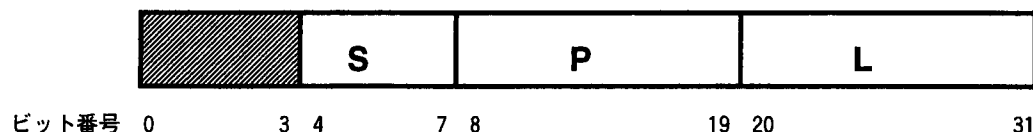
- (b) 計算機においては、一般に、2進数の負数を補数で表現することにより、減算も符号桁まで含めた加算処理により実行する。10進数表現での $28 - 21 = 7$ を例として、この計算を2進数表現により行う場合について示せ。ただし、数は符号桁を含めて6桁(6ビット)で表現し、負数(-21)については、1の補数表現、2の補数表現とした場合のそれぞれについて示せ。符号の扱いは(a)と同じとする。

- (c) (b)において、負数を1の補数表現とした場合、符号桁から桁上りがあったときには、LSD(least significant digit)に1を加えることにより正しい演算結果が得られる。一方、負数を2の補数表現とした場合には、得られた結果がそのまま正しい演算結果になっている。なぜこのようになるのか説明せよ。ただし、いずれの場合も、桁あふれが生じる場合については考慮しなくてもよいものとする。

(2) ベースレジスタ(base register)、インデックスレジスタ(index register)を有する仮想記憶(virtual memory)方式の計算機について、以下の問に答えよ。

- (a) ある情報(データ)の実効アドレス(effective address)、仮想アドレス(virtual address)、実アドレス(real address)とは何か説明せよ。

- (b) この計算機の仮想アドレスの形式を図(a)に示す。



- 0 ~ 3           : 未使用  
4 ~ 7           : セグメント(segment)番号 ( S )  
8 ~ 19          : ページ(page)番号 ( P )  
20 ~ 31       : ページ内アドレス ( L )

図(a) 仮想アドレス

以下の項目について、それぞれの記憶容量(単位: バイト)を示せ。

- (i) 仮想記憶全体  
(ii) 1セグメント  
(iii) 1ページ  
(iv) 実記憶(real memory)全体

- (c) アドレス変換(address translation)とは何か。その処理の流れを、上記(b)の場合について説明せよ。