

生物工学 I

次の[I - 1]~[I - 3]の 3 題を、それぞれ別の解答用紙に答えよ。

[I - 1] (生物)

(問 1) ある成人男性の健康診断書に書かれている血液検査の結果によると、赤血球数が 500 万個(1mm^3 当たり)、ヘマトクリット値(血液中の赤血球容積比: %)が 41.5 %であった。また、血液中の血色素(ヘモグロビン)量は 14.1g/dl であった。以下の問に答えなさい。

- (a) これらの数値を用いてこの成人男性の赤血球の体積を求めなさい。
- (b) 赤血球 1 個に含まれるヘモグロビンの重さを求めなさい。
- (c) 赤血球 1 個に何個のヘモグロビン分子が含まれるか。
(ヘモグロビンの分子量を 65,000、アボガドロ数を $N_A = 6.0 \times 10^{23}$ とする。)

(問 2) 30 分毎に 2 倍に殖える細菌細胞を 10^6 個含む細胞培地を想定する。いま、培地中の 1 個の細胞が 15 分という世代時間で分裂できる変異を獲得したとする。栄養物は無限にあり、1 個の細胞も死なないものと仮定して、以下の問に答えなさい。

- (a) 細胞が分裂を開始してから時間 t 分後における培地中の細胞の数 N を示す式を書きなさい。
(時間ゼロにおける細胞数を N_0 、1 世代時間を T 分とする。)
- (b) 培地中で変異細胞の子孫が優勢になるまでの時間 t を求めなさい。
また、このとき培地中に両種の細胞はそれぞれ何個あるか? ($\log 2 = 0.30$ としてよい。)

(問 3) 以下の設問に対し、簡潔に答えなさい。

- (a) DNA と RNA の違いを構造、機能の点から述べなさい。
- (b) 生命体には重合した化合物が機能分子として存在するが、重合の例(例となる結合名と重合物名)を 2 つ挙げなさい。
- (c) タンパク質の変性とは何か説明しなさい。また、変性させる方法を 2 つ挙げなさい。
- (d) PCR 法では 3 種類の温度状態を繰り返すことによって DNA が増幅される。いま、3 種類の温度が 94°C 、 60°C 、 72°C であるとして、それぞれの温度のときに DNA に起こる反応を説明しなさい。
- (e) 神経伝達とホルモン伝達の共通点と相違点をそれぞれ例を挙げて説明しなさい。

[I - 2] (物理)

内耳の有毛細胞は、特定の周波数の音刺激に対して選択的に応答することが知られている。個々の有毛細胞は膜電位振動の固有周波数を有しており、固有周波数に近い周波数の音刺激に最もよく応答する。以下では、有毛細胞の細胞膜電位の刺激応答特性をモデル化した単純な等価回路モデル (図 1) を考える。この細胞膜の電気回路モデルにおいて、コンダクタンス、抵抗、インダクタンス、および、キャパシタンスの値を各々 g 、 R 、 L 、および、 C_m とおく。このとき、膜を通過する電流 i と膜電位 v の関係は次式となる。

$$\frac{d^2v}{dt^2} + \gamma \frac{dv}{dt} + \omega_0^2 v = f(t). \quad (1)$$

ここで、

$$\gamma = \text{(a)} \quad \underline{\hspace{4cm}} \quad (2)$$

$$\omega_0^2 = \text{(b)} \quad \underline{\hspace{4cm}} \quad (3)$$

$$f(t) = \text{(c)} \frac{di}{dt} + \text{(d)} i \quad (4)$$

である。ただし、膜電位は細胞外の電位を基準とし、初期状態でコンデンサに電荷は無いものとする。

- (問 1) 上式の空欄(a)から(d)に適する答えを g 、 R 、 L 、および、 C_m を用いて表しなさい。
- (問 2) $f(t)$ や $v(t)$ は、本来実数値関数であるが、計算を簡単にするため $f(t) = e^{j\omega t}$ とおき、そのときの膜電位の時間変動を $v(t) = v(\omega)e^{j\omega t}$ と表す。 $v(\omega)$ を γ と ω_0 で表しなさい。
- (問 3) $v(\omega)$ の絶対値 $|v(\omega)|$ が最大となる角周波数 (共振角周波数) ω_m とそのときの $|v(\omega_m)|$ を求めなさい。ただし、これ以降は $2\omega_0^2 > \gamma^2$ とする。
- (問 4) $f(t) = 0$ のとき、式(1)の系は適当な初期条件の下で減衰振動することを示しなさい。また、振動における固有角周波数 ω_e を求めなさい。
- (問 5) $|v(\omega)| = |v(\omega_m)| / \sqrt{2}$ となる角周波数を ω_1 、 ω_2 ($\omega_1 > \omega_2$) とする。共振の鋭さを表す因子 Q を

$$Q = \frac{\omega_m}{\omega_1 - \omega_2}$$

と定義する。このとき、 Q^2 を γ と ω_0 で表しなさい。ただし、 $\omega_0^4 - 2\omega_0^2\gamma^2 + \gamma^4 / 2 > 0$ とする。

(次のページにつづく)

- (問 6) $f(t)$ が音刺激に比例し、その比例定数は音刺激の周波数に関わらず一定であると仮定する。共振角周波数 ω_m と固有角周波数 ω_0 が近づくのは、 γ が ω_0 に対して、どのような場合であるかを述べよ。また、そのときの Q を γ と ω_0 を用いて近似的に表しなさい。

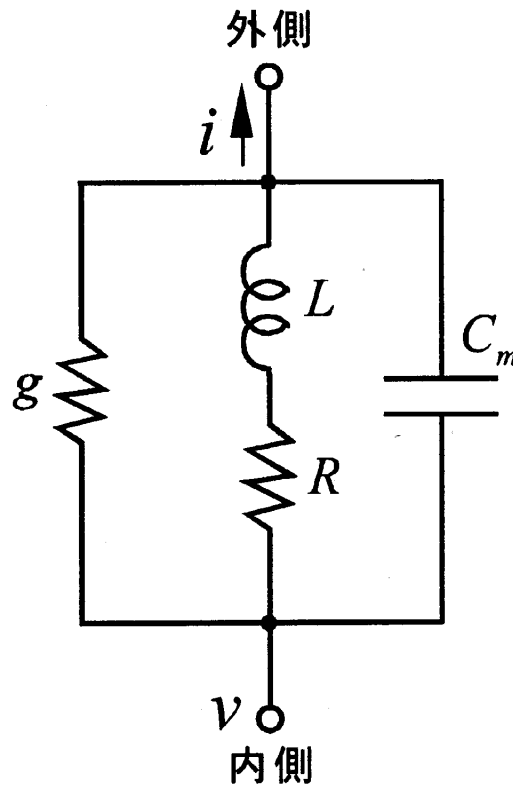


図 1 細胞膜の等価回路モデル

[I - 3] (情報・システム)

(問 1) 下記の文中の (a) ~ (k) に入る語句を入れよ。ただし、(g) ~ (i) については、{ } 内に示された選択肢の内から一つの記号を選んで記せ。

表 1

A	O
0	1
1	0



図 1

論理回路とは、論理素子と呼ばれる 1 (高電圧) と 0 (低電圧) の二信号のみを扱い、入力された信号に応じて一定の論理で出力信号を定めるような素子からなるデジタル回路である。

表 1 に最も単純な論理素子の入出力の関係を示した表を示す。この表では素子の入力 A に 0 を入力すると、出力 O は 1 となり、A に 1 を入力すると出力 O は (a) となることを示している。このように素子の入出力の関係を記した表を (b) 表と呼ぶ。表 1 の (b) 表で示される素子は、入力値と出力値が逆の関係になる (c) 素子であり、論理回路を記載する際に広く用いられている MIL 記号では、図 1 のように表記される。

全ての論理回路は、既に示した (c) 素子に加えて、表 2 図 2、および、表 3 図 3 に示す、二組の (b) 表と MIL 記号表で示される、入力がともに 1 であれば出力が 1 となる (d) 素子と、入力に一つでも 1 があれば出力が 1 となる (e) 素子の、三つの論理素子だけを用いて実現できることが広く知られている。

表 2

A	B	O
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

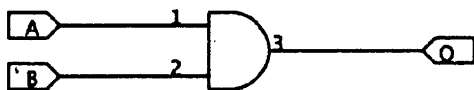


図 2

表 3

A	B	O
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

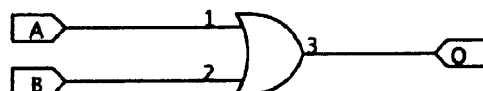


図 3

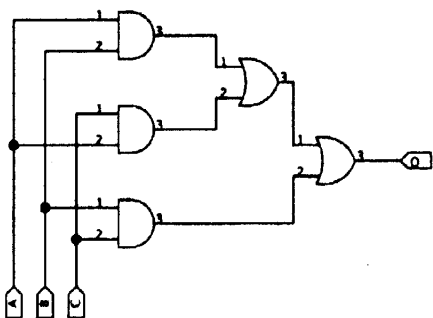


図 4

例えば、図 4 に示す [L] 回路のような一見複雑な回路も、(d) 素子と (e) 素子だけで実現されている。

(次のページにつづく)

表 4

A	B	O
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



図 5

表 4 に示す (b) 表と図 5 に示す MIL 記号は入力の中に 0 (否定) のものが含まれれば出力が 1 になる (f) 素子を示している。ここで、上記で示した (c) 素子、(d) 素子、(e) 素子を、全て (f) 素子だけを用いて実現できれば、既に述べたように、(c) 素子、(d) 素子、(e) 素子だけで全ての論理回路を実現できることから、(f) 素子だけで全ての論理回路を実現できることになる。以下では、(f) 素子だけを用いて、(c) 素子、(d) 素子、(e) 素子を実現する方法を考える。

最も簡単に得ることができるのは (g { c, d, e }) 素子である。(f) 素子の二つの入力を接続し、一つの入力 A としてしまえば、先に示した (g) 素子と同じ (b) 表を得ることができる。次に、新たに作成した (g) 素子の入力 A を (f) 素子の出力 O と接続すれば、(h { c, d, e }) 素子を得ることができる。ここで、(f) 素子と (h) 素子の MIL 記号を比較すると、(f) 素子の先端にある円が (g) 素子と同じ役割を果たしていることが分かる。

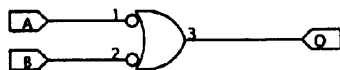


図 6

最後に、残る (i { c, d, e }) 素子を考える。ここで、図 6 の MIL 記号で示されるような素子を考え、その (b) 表を作成すると、この素子が (f) 素子と同じ素子であることが分かる。このように (f) 素子を二通りの方法で書き表せることは (j) の法則と呼ばれ、論理回路の設計を行う際に広く利用されている。

この法則を利用すれば、(i) 素子は最小 (k) 個の (f) 素子を用いて実現できる。

以上のように、(c) 素子、(d) 素子、(e) 素子の全てを (f) 素子だけを用いて実現できることから、全ての論理回路は (f) 素子だけを用いて実現することが可能である。

(問 2) 上記の文中の (g) ~ (i) 素子の三つの素子をそれぞれ最小個の (f) 素子を用いて実現せよ。

(問 3) 上記の文中 [L] 回路はどのような回路か説明し、(b) 表を示せ。

(問 4) 表 5、表 6 の (b) 表で示される二つの素子をそれぞれ最小個の (f) 素子を用いて実現し、素子名と MIL 記号を示せ。

表 5

A	B	O
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

表 6

A	B	O
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0