

# 平成23年度群馬大学医学部医学科入学試験

## 問題

### 編入学

#### 小論文(1)問題

##### 注意事項

1. 試験開始の合図があるまでこの問題冊子を開いてはいけません。
2. 問題冊子のページ数は7ページです。問題冊子および答案用紙(4枚)、および下書き用紙(3枚)に、落丁、乱丁、印刷不鮮明などの箇所がある場合は申し出てください。
3. 解答は指定の答案用紙に記入してください。
  - (1) 文字はわかりやすく、横書きで、はっきりと記入してください。
  - (2) 解答の字数に制限がある場合は、それを守ってください。
  - (3) 訂正、挿入の語句は余白に記入してください。
  - (4) ローマ字、または数字を使用するときは、まず目にとらわれなくともかまいません。
4. 試験時間は90分です。
5. 答案用紙は持ち帰ってはいけません。
6. 問題冊子と下書き用紙は持ち帰ってください。

次の文章を読んで設問A-Dに答えなさい。

##### 医療機器の環境 <電気工学の基礎>

###### 電気とは何か

電気とはいったい何なのか、ということから考えてみたい。

すべての物質の構成単位は原子であり、原子の種類は118にも及ぶ(ただし国際的には113以降は正式に認定されていない)。すべての原子は、原子核と電子とからできており、その原子核を構成しているのが陽子と中性子である。陽子はプラスの電気、電子はマイナスの電気をもっているが、中性子は電氣的には中性である。

ふつうの状態では、1つの原子は電氣的にも中性、つまり、陽子の数と電子の数が一致している。しかし、何らかの力によって原子核と電子が切り離されると、プラスまたはマイナスの電気を帯びることになる。絶縁物を摩擦すると、「静電気」を帯びることはすでに示した。

1つの電子は、以下のように一定の質量と一定の電気の量(電荷という)を保有している。

質量: 約  $9.1 \times 10^{-31}$  kg

電荷: 約  $-1.6 \times 10^{-19}$  C

ここで、電荷の単位としてCと表されているのはクーロンという標準単位である。

###### オームの法則と電気抵抗

電荷すなわち電気の量とは、静止している電気、すなわち静電気と考えればよい。この電荷が移動する現象はよく起こる。これが電流であり、1クーロンが1秒間に動く場合、その単位が1アンペアである。また、その電流の起因となる力は起電力または電圧ともいわれる。

ここで、電気の最も基本的な法則であるオームの法則を示す。

$$I = E/R$$

ここでI: 電流(単位: アンペア)、E: 起電力(電圧、単位: ボルト)、R: (電気)抵抗(単位: オーム)

###### 交流回路とは

電線を通る電流は、大きく直流と交流に分けられる。交流の電圧は時間とともに周期的に変化し、その波形はサイン波(正弦波)の形状を呈している。この電圧Eを数式で表すと次のようになる。

$$E = E_m \sin \omega t$$

この式で、電圧Eは瞬時値と呼ばれ、時刻tにおける電圧の値を示している。これに対しE<sub>m</sub>は最大値と呼ばれ、交流電圧のいちばん大きくなる値を示す。わが国では、E<sub>m</sub>は、およ

そ 141 ボルトである。通常、100 ボルトといっているのは実効値と呼ばれ、最大値 $E_m$ のおよそ 1/1.41 である。

$\omega$  は角速度と呼ばれ、周波数を  $f$  (Hz) とすると、  

$$\omega = 2\pi f$$

という関係にある。つまり、交流とは一定の角速度をもった回転に相当する、と考えることもできる。角速度 $\omega$ は、周波数が  $f$  (Hz) のときには、 $2\pi f$ だけ回転すると考えればよい。

図 1 に、交流電圧を抵抗  $R$  に加えたときの様子を示す。

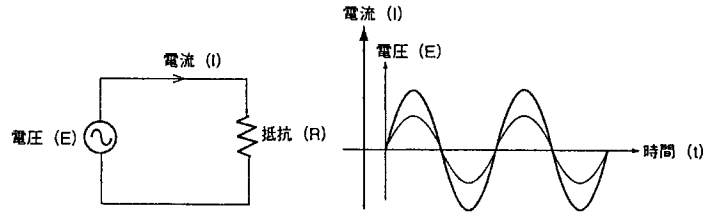


図 1 交流回路 (抵抗)

抵抗  $R$  に流れる電流を  $I$  とすると、このときにもオームの法則が適用され、以下の式で表される。

$$I = \frac{E}{R} = \frac{E_m}{R} \sin \omega t$$

この式からわかることは、抵抗  $R$  に流れる電流もサイン波の形をしており、最大値は  $E_m/R$  となる。サイン波の交流電流と交流電圧は、抵抗  $R$  を通してみると、瞬間的には同じ時点で最大になり、また同じ時点で最小になる。このような状態を同相と呼んでいる。

### 電荷を貯めるコンデンサ

ここで、電気素子としてのコンデンサについて説明しておく。コンデンサは、導電体の 2 枚の平板が向き合っているような構造になっており、その間に絶縁物が詰められている。コンデンサは電荷 ( $Q$ : electric charge) を蓄えられるもので、その量を電気容量 ( $C$ : capacitance) という。容量の単位はファラド (F: farad) が使われる。

コンデンサ  $C$  に直流電圧  $E$  を加えた場合、コンデンサに蓄積される電荷  $Q$  は、次のようになる。

$$Q \text{ (クーロン)} = C \text{ (ファラド)} \times E \text{ (ボルト)}$$

1 クーロンとは、1 ファラドの電気容量をもったコンデンサに 1 ボルトの電圧を加えた

ときに、コンデンサに蓄えられる電荷である。なお、1 クーロンの電荷が 1 秒間に移動した場合の電流の単位が 1 アンペアなので、電流  $I$  と電荷  $Q$  との関係は、次の式で表される。

$$I = \frac{d}{dt} Q$$

ここで示す微分とは、「変化する割合」を表している。もし、電荷の流れが時間経過に対して一定であれば、 $t$  秒間に流れる電荷  $Q$  の流れ、電流  $I$  は、

$$I \text{ (アンペア)} = \frac{Q}{t} \text{ (クーロン/秒)}$$

と表される。しかし、 $Q$  は一般的には時間とともに変化するので、このような場合には微分を使わなければならない。すなわち、電荷が時間とともに変化する割合が「電流」と定義できる。

図 2 (左) は、コンデンサ  $C$  に交流電圧を加えたとき、電流がどう流れるかについて表現している。

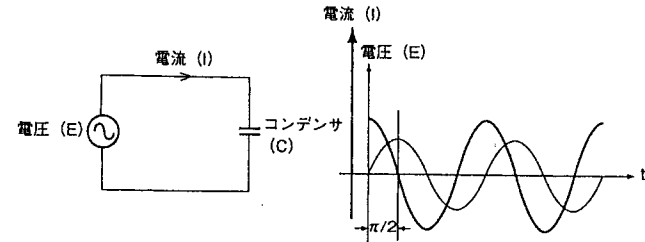


図 2 交流回路 (コンデンサ)

前の電荷と電流の式から、

$$I = \frac{d}{dt} Q$$

$$I = \frac{d}{dt} CE$$

となる。ここで、 $E$  が交流すなわち  $E_m \sin \omega t$  のとき、

$$I = \frac{d}{dt} (CE_m \sin \omega t)$$

$$= (1) \text{ } \omega t$$

$$= (2) \text{ } (\omega t + \pi/2)$$

となる。これを図示したものが図2(右)である。

電気抵抗 R に交流電圧を加えたときには、交流電流のサイン波形は、(3) \_\_\_\_\_ であることを示した。しかし、コンデンサ C に交流電圧を加えたときには、交流電流のサイン波形が(4) \_\_\_\_\_ だけ前進むことになる。

医療機器の基礎技術 <電極とセンサ>

化学的センサ

代表例として、経皮血中ガス測定用のセンサについて解説する。基本的には、電気化学の分野でいわれるポーラログラフイー (polarography) という方式に基づいている。この方式は、チェコの科学者、ヤロスラフ・ヘイロフスキー (1890-1967) によって1922年に開発された。実際の酸素電極に関しては、アメリカの生化学者、レーランド・クラーク (1918-2005) によって開発されたものである。そのため、このセンサは“Clark electrode クラーク電極”と呼ばれており、開発時期は1953年ごろである。

図3には、酸素を検出するための電極の原理図を示した。酸素を検知する電極(A)は白金でできており、電池(F)により数ボルトのマイナス電圧がかけられる。酸素が白金電極に達すると、飽和 KCl 溶液(C)を通して陽極(B)の Ag-AgCl 電極との間に電流が流れる。したがって、その電流を測定すれば、酸素の量が計算できる。

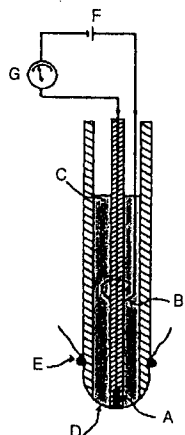


図3 クラーク電極

図4には、人体の体表からの酸素分圧  $PO_2$  および炭酸ガス分圧  $PCO_2$  を検出するためのコンビセンサの測定原理を示す。センサ内には、体表からの  $PO_2$  および  $PCO_2$  を検知するための電極が配置されている。

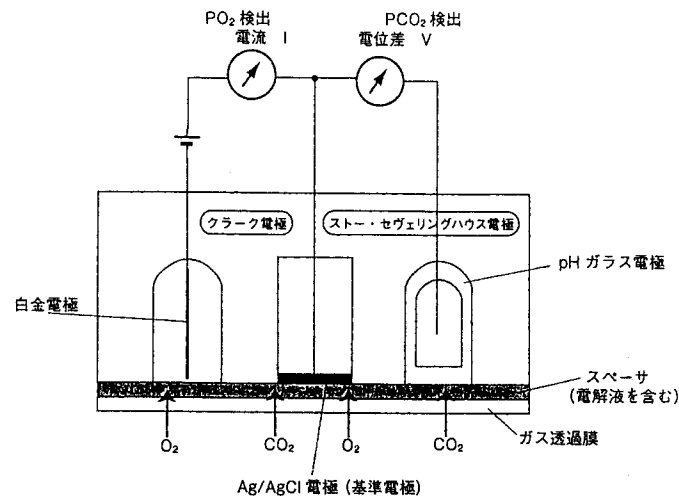


図4 コンビセンサの原理

Ag-AgCl 電極は、これらを検出するための共通の基準電極である。白金電極(クラーク電極)が  $PO_2$  を検出するための電極であり、基準電極との間に電圧をかける。また、皮膚表面からの炭酸ガスが pH ガラス電極に達すると、pH ガラス電極と Ag-AgCl 電極の間には、 $PCO_2$  に応じて電圧が発生する。その電圧を測定することによって、 $PCO_2$  が換算できる。このセンサは、アメリカの生化学者、リチャード・ストウ (1916-) が考案したものである。ところが、安定性に問題があったため、1957年にアメリカの麻酔医、ジョン・セヴェリングハウス (1922-) によって改良が加えられた。これにより安定して  $PCO_2$  の測定ができるようになったため、「ストウ・セヴェリングハウス電極」と呼ばれる。

「医療機器 生き立ち・役目と働き・望まれる姿」 久保田博南 著、真興交易(株) 医書出版部 一部抜粋・改変)

設問

A. 本文内、下線部 (1), (2), (3), (4) の空欄を埋めて数式や文を完成しなさい。

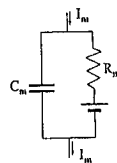
解答は答案用紙 1-1 の A(1)~(4) に記入しなさい。

B. 神経細胞では、細胞膜の内外にイオン濃度の不均衡があり、そのため電位差が存在する。細胞膜は脂質二重膜からなる薄い絶縁体で、その両側に導電体である電解質液があるためコンデンサ（キャパシタ）として振る舞う。

B-1 電解質液で満たされた 2 個の 1 辺 10 cm の立方体が 1 つの面で接している。接している面は電気容量  $1 \mu\text{F}/\text{cm}^2$  の細胞膜で隔てられているとする。10 pmol のカルシウムイオンが一方の立方体からもう一つの立方体に移動したとすると、電位は何 mV 変化するか計算しなさい。ただし、答え (mV) は小数点第 2 位を四捨五入しなさい。

解答は答案用紙 1-1 の B-1 欄に記入しなさい。

B-2 神経細胞の内部に差し入れた電極から細胞内に電流を注入したときの膜の様子は、右図のように単純化した等価回路で表すことができる。細胞膜の抵抗を  $R_m$ 、膜容量を  $C_m$ 、電流注入によって膜に電流  $I_m$  が流れたときの膜の電位変化を  $V$  とすると、 $I_m$  はどのような式で表されるか。



解答は答案用紙 1-2 の B-2 欄に記入しなさい。

B-3 この神経細胞に 100 pA の電流を十分長い間注入すると、膜電位は +5 mV 変化した。この神経細胞の膜抵抗  $R_m$  ( $\Omega$ ) を求めなさい。

解答は答案用紙 1-2 の B-3 欄に記入しなさい。

C. 図 3 において、電極 A と電極 B では、それぞれどのような反応が起こり、酸素濃度が測定できるのか、化学反応式を用いて日本語 250 字以内（句読点を含めて）で答案用紙 1-3 の C 欄に説明しなさい。

D. 図 4 において、 $\text{PCO}_2$  測定用 pH ガラス電極のガス透過膜とガラス電極の間のスペーサ部分には、蒸留水ではなく重炭酸イオンおよび、遊離の  $\text{Na}^+$  イオンを含んだ電解液が入っている。その理由について、化学反応式を用いて日本語 300 字以内（句読点を含めて）で答案用紙 1-4 の D 欄に説明しなさい。