

第2回午前部

【問題1】 次の□の中に入る適当な数値を後の数値群より選び、その番号を解答欄①～④にマークせよ。[2×4=8]

2つの音叉(おんさ) A, Bがあり、A, Bを同時に鳴らしたところ、5.0秒間に10回のうなりが観測された。音叉Aの固有振動数を300 Hzとすると、音叉Bの固有振動数 f_B を次のようにして求める。

毎秒のうなりは①回であるから、 $f_B \sim \text{②} = \text{①}$ となる。したがって、 $f_B > 300$ であれば、 $f_B = \text{③}$ Hzであり、 $f_B < 300$ であれば、 $f_B = \text{④}$ Hzとなる。

- 1) 1 2) 2 3) 3 4) 4 5) 290
6) 294 7) 296 8) 298 9) 300 10) 302

【正解】 ①=2), ②=9), ③=10), ④=8)

【解説】 振動数がわずかに異なる2つの波が干渉すると、比較的長い周期の強弱音が交互に発生するが、これを“うなり”という。うなりの振動数 f (Hz)は、2つの波の振動数をそれぞれ f_1, f_2 (Hz)とすると、 $f = f_1 \sim f_2$ (～は大きい方から小さい方を引くことの意味)となる。

- ①この問題では、5.0秒間で10回のうなりが観測されたことから、うなりの振動数(毎秒のうなり)は、 $10 \div 5 = 2$ (回)、したがって、答は2である。
- ②音叉A, Bの固有振動数をそれぞれ f_A, f_B とすると、 $f_A = 300$ であり、上記のうなりの公式より、 $f_B \sim f_A = 2$ となるから、答は300すなわち9である。
- ③②の式において、 $f_B > 300$ であれば、 $f_B - 300 = 2$ となるから、 $f_B = 302$ となり、答は10である。
- ④ $f_B < 300$ であれば、 $300 - f_B = 2$ となるから、 $f_B = 298$ で、答は8である。

第2回午前の部

【問題2】 次の文章で誤っているのはどれか。その番号を解答欄⑤にマークせよ。[3]

- a. 水素イオン濃度の対数を水素イオン指数(pH)という。
- b. プロトン受容体を酸という。
- c. 酸やアルカリ添加による pH 変化を妨げる作用を緩衝という。
- d. pH によって陽イオンや陰イオンになる物質を両性電解質という。
- e. 酸性の電離とアルカリ性の電離が等しくなる pH を等電点という。

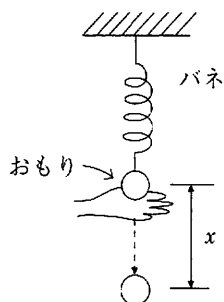
- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

[正解] ⑤= 1)

[解説] 生体内にはアミノ酸やタンパクをはじめ種々の電解質が存在する。本問は、電解質と酸塩基平衡の関連について取り上げている。

- × a. 水素イオン濃度の逆数の対数（または水素イオン濃度の対数の絶対値）を水素イオン指数（pH）という。
- × b. プロトンの供与体を酸，受容体を塩基という。
- c. 緩衝作用をもつ溶液を緩衝溶液という。
- d. アミノ酸やタンパクではアルカリ性を示すアミノ基（ $-\text{NH}_2$ ）と酸性を示すカルボキシル基（ $-\text{COOH}$ ）などを共有しており，両性電解質である。
- e. 通常，pI と表示する。

【問題3】 図のようにバネの上端を固定し、反対側に質量 m [kg] のおもりをつけた。おもりを手で支えてバネが自然の長さで重力方向に垂直になるようにした後、手を急に離した。バネ定数を k [N/m]、重力加速度を g [m/s²] としたとき、バネの最大の伸び x [m] を与える式を解答欄 に記入せよ。[4]



【正解】 = $2mg/k$

【解説】 バネにおもりを下げて、少し引き上げた状態で手を離している。このおもりは下へ落下するが、バネの力によって落下は停止し、その後上向きにもどってくる。

このような動きの様子はバネの張力とはじめにおもりに与えられた位置エネルギーによって決まり、摩擦などの抵抗力を無視すれば単振動を行う。おもりとバネのつり合いの位置はおもりの重量が mg であるので、バネが mg/k だけ自然長より伸びた点となる。すなわち、初期に与えられた位置より mg/k 下方につり合い点が存在する。この点を基準とした単振動となるので、最下点はこの点よりさらに mg/k 下方であり、図の x は

$$x = mg/k + mg/k = 2mg/k \text{ となる。}$$

【問題4】 次の□の中にあてはまる適当な語句または数値を解答欄⑧, ⑨に記入せよ。[3×2=6]

エネルギーは⑧×距離で表すことができる。

SI基本単位では長さをm, 質量をkg, 時間をsで表すので, この基本単位でエネルギーを表現すると⑨となる。

【正解】 ⑧=力, ⑨= $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$

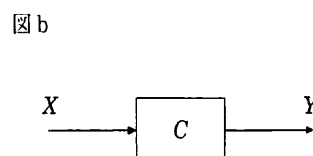
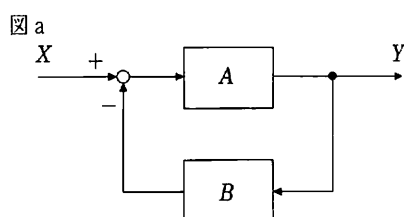
【解説】 エネルギーは様々な形をとるので, 物理的にも多くの概念で与えることができる。

最もわかりやすい概念はエネルギーによる「仕事」であり, 力×距離で表すことができる。力の単位は[N], 距離は[m]であるので, 仕事の大きさは[N・m]の単位で与えられるが,

1[N・m]は1[J]に等しく, この変換を通して様々なエネルギーを統一的に取り扱うことができる。[N]は力の単位であり, 質量×加速度とおきかえることができるので,

N:[$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]となり, エネルギーの単位は[N・m]なので, 基本単位では, [$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$]となる。

【問題5】 下のブロック線図を図aから図bのように等価変換すると、 C は A と B を用いてどのように表せるか。正しいものを選び、その番号を解答欄⑥にマークせよ。[3]



- 1) $1 + \frac{A}{B}$ 2) $1 - \frac{A}{B}$ 3) $\frac{A}{A \cdot B}$
 4) $\frac{A}{1 + A \cdot B}$ 5) $\frac{A}{1 - A \cdot B}$

【正解】 ⑥ = 4)

【解説】 どこをスタートとして考えてもよいが、いま、それぞれのブロックの入口と出口について考える。ブロック A の入口を x とすると、出口は $A \cdot x$ となる。 $A \cdot x$ は B の入口となるので、 B の出口では $A \cdot B \cdot x$ となる。

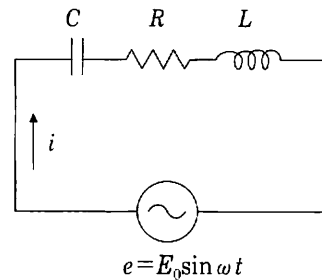
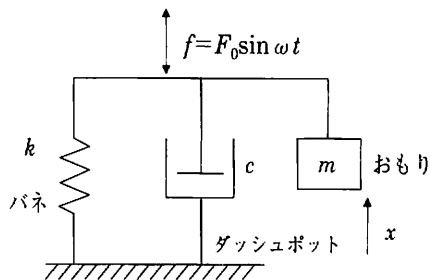
A への入力 x は X と $A \cdot B \cdot x$ との差であるので、 $x = (X - A \cdot B \cdot x)$ とおくことができる。

$$\text{したがって、 } x = 1 / (1 + A \cdot B) \times X \quad \dots\dots\dots(1)$$

$Y = A \cdot x$ であるから、(1)を代入して、 $Y = A / (1 + A \cdot B) \times X$ となる。これは C を用いて、 $Y = C \cdot X$ と表せるので、 $C = A / (1 + A \cdot B)$ となる。

【問題6】 下の図は振動系を表す機械回路と電気回路の等価回路を示している。質量 m にインダクタンス L が対応するものと考えたとき、以下の問に答えよ。

[2×4=8]



$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \sin \omega t$$

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt = E_0 \sin \omega t$$

6-1 機械系に現れる振動として適切なものはどれか。その番号を解答欄 にマークせよ。

- 1) 単振動 2) 強制振動 3) 減衰振動 4) 調和振動 5) 自励振動

6-2 機械系の運動を表す式の左辺のディメンジョンは何と等しいか。その番号を解答欄 にマークせよ。

- 1) 力 2) ひずみ 3) 応力 4) エネルギー 5) 加速度

6-3 電気系の状態を表す式の左辺のディメンジョンは何と等しいか。その番号を解答欄 にマークせよ。

- 1) 電流 2) 電圧 3) 電力 4) 電荷 5) 電気量

6-4 振動系の変位 x は電気回路の何に対応するか。その番号を解答欄 にマークせよ。

- 1) 容量 2) 抵抗 3) 電圧 4) 電流 5) 電荷

[正解] ⑦=2), ⑧=1), ⑨=2), ⑩=5)

[解説] この機械回路と電気回路は等価回路である。等価回路とは、力学的なふるまいと電圧や電流の変化などが同じ形の方程式で記述できるような複数の系のことをさし、全く異なった物理現象でありながら数学的には同一の形式で表現できる。このような対応関係を利用して、機械系や流体系、熱系などの挙動を電気回路によりシミュレーションすることができる。この間では機械系についてはバネ、ダッシュポット、おもりそれぞれに加わる力のつり合いの方程式が示されており、一方電気系では、キャパシタ、抵抗、インダクタそれぞれについて両端の電圧の総和が与えられた電圧源と一致するという方程式が与えられている。

6-1

機械系には角速度 ω で周期的に変動する力が与えられており、この周期が機械系の固有振動と一致すると共振現象が生ずる。このように、強制的に作用する周期的な外力により生ずる振動を強制振動という。

6-2

機械系ではバネ上端、ダッシュポット上端およびおもりの固定点が機械的に結ばれており、この結合点の変位はそれぞれの要素に対して共通である。

この変位を x とすると、バネに作用する力は kx (ただし、 k はバネ定数)、ダッシュポットに作用する力は $c\dot{x}$ (\dot{x} は速度を表す)、おもりに作用する力は $m\ddot{x}$ (\ddot{x} は加速度を表す) となるので、

$$kx + c\dot{x} + m\ddot{x} = F_0 \sin \omega t$$

が成立する。左辺のディメンジョンは力、当然ではあるが、右辺のディメンジョンも力である。

6-3

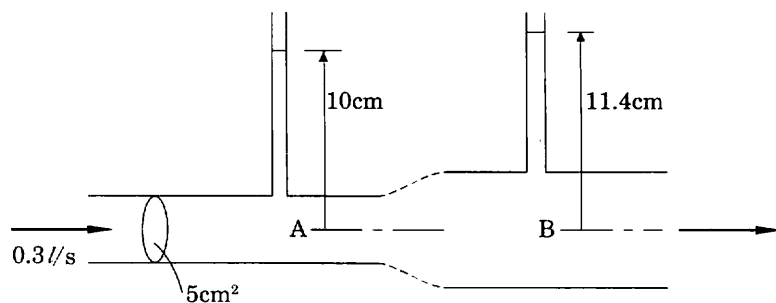
同様に電気系の左辺はそれぞれの素子の両端に生ずる電圧の和を表し、これが右辺の電圧源と等しくなる。

6-4

$$L di/dt + Ri + 1/C \int idt = E_0 \sin \omega t$$

となる。 m と L を対応させて考えると、 x は $\int idt$ と対応することになる。 $\int idt$ は電流 i の積分であり、キャパシタ: C に蓄えられる電荷に相当する。

【問題7】 図のような異なった断面積を持つ管に毎秒 0.3 l の水を定常流で流した。このとき管の A の部分の断面積は 5 cm^2 であり、 A 部分で垂直に立てたガラス管の水は管の中心から 10 cm の高さに達していた。また、同様に、 B 部分ではガラス管の水の高さは 11.4 cm であった。水の粘性を 0 として考えると B の部分の管の断面積はおよそいくらか。正しいものを選び、その番号を解答欄 ① にマークせよ。[3]



- 1) 2 cm^2 2) 4 cm^2 3) 10 cm^2 4) 15 cm^2 5) 20 cm^2

【正解】 ① = 3)

【解説】 ベルヌーイの定理と連続の式を用いて考える。流体の高さは A 、 B で変わらないので、 A 点の流速を v_A 、 B 点のそれを v_B とすると、

$$1/2 \rho v_A^2 + 10 \text{ cmH}_2\text{O} = 1/2 \rho v_B^2 + 11.4 \text{ cmH}_2\text{O}$$

が成立する。

$$1 \text{ cmH}_2\text{O} \text{ は } 10 \times 9.8 \text{ [N/m}^2 = \text{Pa]}$$

であるので、すべての単位を kg 、 m 、 s で表すと、

$$\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3,$$

$$v_A = (0.3 \times 10^{-3} \text{ [m}^3/\text{s]}) / (5 \times 10^{-4} \text{ [m}^2]) = 0.6 \text{ m/s}$$

となる。したがって、

$$1/2 \times 10^3 \times (0.6)^2 + 100 \times 9.8 = 1/2 \times 10^3 \cdot v_B^2 + 114 \times 9.8$$

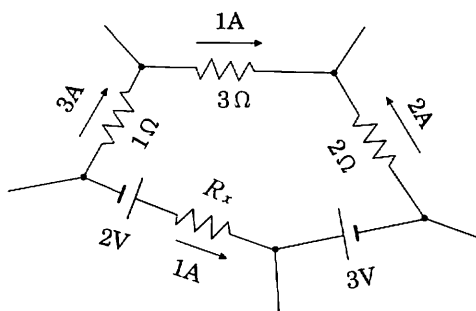
$$v_B = 0.29 \approx 0.3 \text{ [m/s]}$$

となる。 B 点での断面積は流量/流速となるので、

$$\begin{aligned} 0.3 \times 10^{-3} \text{ [m}^3/\text{s}] / 0.3 \text{ [m/s]} &= 10^{-3} \text{ [m}^2] \\ &= 10 \times 10^{-4} \text{ [m}^2] \\ &= 10 \text{ [cm}^2] \end{aligned}$$

【問題 8】 図示の電気回路の一部について各抵抗に流れる電流や電池の起電力を調べ、図中の数値を得た。ただし、 R_x だけは抵抗値が不明である。以上の測定値および、既知の抵抗値より R_x の値として正しいものを選び、その番号を解答欄 ⑫ にマークせよ。[2]

- 1) $1\ \Omega$
- 2) $2\ \Omega$
- 3) $3\ \Omega$
- 4) $4\ \Omega$
- 5) $5\ \Omega$



【正解】 ⑫ = 1)

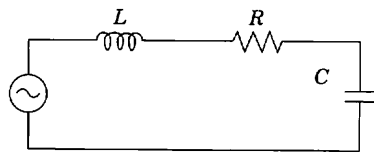
【解説】 キルヒホッフの第2法則（網目回路での電圧平衡の法則）を用いる。図のような網目の中の1節点を基準としてこの網目に沿って電位の変化を調べると、この網目を構成する電源や抵抗に流れる電流により、電位が上がったり下がったりするが、結局一巡してもとの節点に戻れば、基準の電位に戻ることを利用し、未知の抵抗 R_x の両端の電位差を求め、オームの法則に従って、これを R_x に流れる電流で除せば解を得る。

例えば、次のようにして解答を得る。下中央の節点を基準の0電位とし、反時計回りに網目を巡る。次の節点では3Vの電源を+から-へよぎり電位が下降して-3V、次は2Ωに2Aの電流が回路を巡る方向に流れているので下り坂となり、ここの電位差は-4V、従って基準点から見れば合計-7V、次は電流の向きが逆なので登り坂となり、+3V。次も+3V。さらに電源を正の方向へよぎり+2Vで抵抗 R_x の左側に至る。ここまでの電位変化を合計すると、 $-7\text{V} + 3\text{V} + 3\text{V} + 2\text{V} = +1\text{V}$ となる。この電位差が R_x にかかり、1Aの電流が流れていたのであるから、 $R_x = (+1\text{V}) / (+1\text{A}) = 1\ \Omega$ と答が求まる。

【問題9】 図aのLCR回路はカテーテル式電気血圧計の電氣的等価回路である。この血圧計で心内の血圧波形を観測したところ、図bのようであった。[2×2=4]

9-1 血圧計のドーム内に大きな気泡が混入してしまった。血圧波形はどのようになると思われるか。正しい波形を解答群Iから選び、その番号を解答欄 にマークせよ。

9-2 このとき等価回路はどのように変わったことに等しいか。解答群IIより正解を選び、その番号を解答欄 にマークせよ。

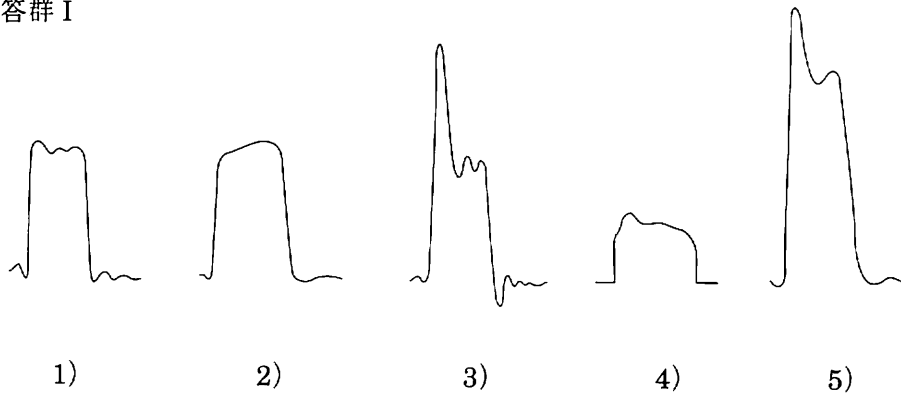


図a



図b

解答群I



解答群II

- 1) R が大きくなる 2) R が小さくなる 3) C が大きくなる
 4) L が大きくなる 5) 変化がない

第2回午前の部

〔正解〕⑬＝2), ⑭＝3)

〔解説〕カテーテル式電気血圧計ではカテーテル内の粘性流体(0.9%の食塩水と考えればよい)の質量と電気血圧計の膜の弾性(コンプライアンス)による共振現象が起こる。これは粘性抵抗が小さいために起こる現象である。このため、血圧波形を測定すると、問題の図bに示すような振動波形が血圧波形に重畳してしまう。この状態をアンダーダンプと呼んでいる。

この測定系の電氣的等価回路は問題の図aで示される。回路中の L は粘性流体の質量による慣性力を、抵抗は粘性抵抗を、 C は膜のコンプライアンスを示す。カテーテル自身のコンプライアンスは膜のコンプライアンスに比較して一般に無視できる。

共振現象を取り除くためには制動をかけてあげればよい。制動を大きくするには R または C を大きくするか、 L を小さくすればよい。

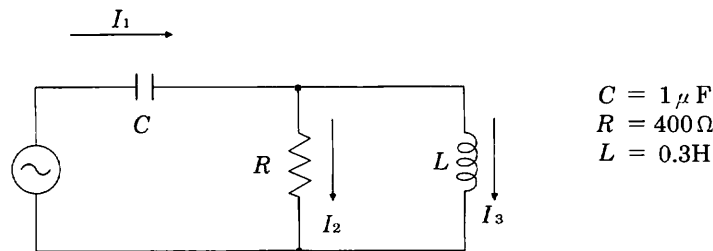
気泡が混入すると気泡のコンプライアンスと膜のコンプライアンスのため、系のコンプライアンスが増加することになり、制動が大きくなる。測定された血圧波形に測定系の共振現象の影響がなく波形が滑らかになり、ほぼ正確に血圧波形が測定できるようになる。しかし、一般には丁度良い大きさの気泡がカテーテル内に混入することはほとんどなく、測定された血圧波形は歪んでしまうので、カテーテル内に気泡が混入しないように注意すべきである。

第2回午前の部

【問題10】 図の回路において、正弦波電流 I_2 が 0.03 A の時、 I_1 、 I_3 の値はそれぞれいくらか。□に当てはまるものを選び、その番号を解答欄⑮、⑯にマークせよ。ただし、正弦波電圧源の周波数は $10^3/(2\pi)\text{ Hz}$ とする。[$3 \times 2 = 6$]

$$I_1 = \text{⑮} \text{ A}$$

$$I_3 = \text{⑯} \text{ A}$$



- 1) 0.07 2) 0.05 3) 0.04 4) 0.03 5) 0.01

【正解】 ⑮ = 2), ⑯ = 3)

【解説】 抵抗 R とインダクタ L の両端の電位差は等しい。したがって、

$$R \times I_2 = \omega L I_3 = 400 \times 0.03 = 2\pi \times 10^3 / 2\pi \times 0.3 \times I_3$$

したがって、 $I_3 = 0.04\text{ [A]}$

抵抗 R とインダクタ L を流れる電流の位相が異なっていることに注意をして電流 I_1 を求める (ベクトル和)。

$$I_1 = I_2 + I_3 = \sqrt{0.03^2 + 0.04^2} = 0.05\text{ [A]}$$

【問題11】 次の文章の□□□□に当てはまるものを解答群から選び、その番号を解答欄⑰～⑳にマークせよ。[2×4=8]

2つの帯電物体(電荷量を Q_1 , Q_2 とする)を真空中に置く。物体の大きさが物体間の距離 r に比較して十分小さければ、両物体間に働く静電力 F は Q_1 , Q_2 の積に比例し、距離 r の2乗に逆比例する。これは実験的に求められたもので⑰と呼ばれている。この力 F は Q_1 によって空間中に特別な性質を持つ⑱ができ、この中に Q_2 を置くと Q_2 に力 F が働くと考えると都合がよい。 Q_1 による⑲に逆らって⑲をある点Aから別の点Bまで動かすのに必要な仕事の大きさを点Aに対する点Bの⑳という。

- ⑰の語群 1) マクスウェルの法則 2) アンペールの法則 3) ガウスの法則
4) クーロンの法則 5) ビオ・サバールの法則
- ⑱の語群 1) 電流 2) 電界 3) 電位 4) 電位差 5) 電位係数
- ⑲の語群 1) イオン 2) 単位電荷 3) 電子 4) 単位質量 5) ホール
- ⑳の語群 1) 電流 2) 電界 3) 電位 4) 電力 5) 電位係数

【正解】 ⑰=4), ⑱=2), ⑲=2), ⑳=3)

【解説】 この問題は電荷間に働く力に関する問題である。問題文に説明されている電荷間に働く力はクーロンの法則で関係づけられている。

真空中に電荷が存在するとその電荷による電界の静電場が起き上がる。静電場内で電荷を運ぶためには場に打ちかって仕事が必要となさなければならない。その仕事の大きさを電位と定義している。

第2回午前の部

【問題12】 次の文章の□□に当てはまるものを解答群から選び、その番号を解答欄⑳㉑, ㉒にマークせよ。[2×2=4]

1 V の直流分, $V_1 \sin(\omega t)$ [V] の基本波, $V_2 \sin(2\omega t)$ [V] の第2高調波, $V_3 \sin(3\omega t)$ [V] の第3高調波でできあがっているひずみ波交流の実効値は㉑ V である。また、基本波に対するひずみ率は㉒ % である。

ここで、 $V_1 = \sqrt{2}$, $V_2 = 0.4 \times \sqrt{2}$, $V_3 = 0.3 \times \sqrt{2}$ とする。

㉑の語群 1) 1.25 2) 1.45 3) 1.5 4) 1.55 5) 1.6

㉒の語群 1) 20 2) 30 3) 40 4) 50 5) 60

【正解】 ㉑ = 3), ㉒ = 4)

【解説】 高調波成分を含んでいるひずみ波交流の実効値は、各成分の実効値の自乗の和の平方根で与えられる。

V_1 , V_2 , V_3 の実効値はそれぞれ 1 [V], 0.4 [V], 0.3 [V] であるから、ひずみ波交流の実効値は次式で与えられる。

$$\sqrt{1^2 + 1^2 + 0.4^2 + 0.3^2} = 1.5 \text{ [V]}$$

基本波に対するひずみ率は基本波の実効値に対する高調波成分の実効値の比であるから

$$\frac{\sqrt{0.4^2 + 0.3^2}}{1} = 0.5$$

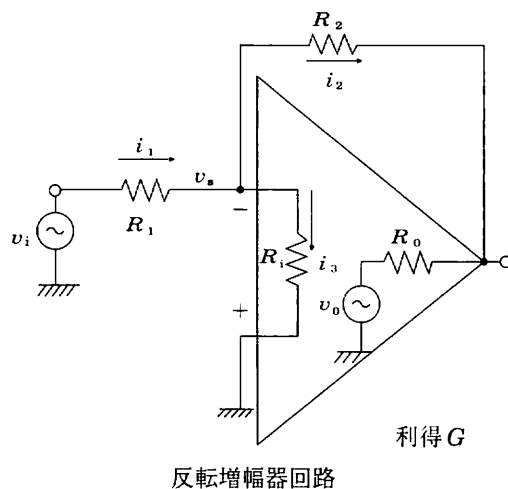
したがって、50%となる。

【問題13】 図は入力抵抗 R_1 、出力抵抗 R_0 、利得 G の演算増幅器を用いた反転増幅器である。□ に当てはまる数式を図中の記号を用い解答欄 ㉑ ~ ㉓ に記入せよ。[2×3=6]

キルヒホッフの法則より $i_1 = i_2 + i_3$ の関係式がえられる。また、出力抵抗 R_0 は十分小さいとして無視すると、オームの法則より次に示す関係が求まる。

$$v_s = R_1 \times i_3, \quad i_1 = \text{㉑}, \quad i_2 = \text{㉓}$$

演算増幅器の条件より $v_o = -v_s \times G$ であるから、 G が十分大きいとすると反転増幅器のゲイン (v_o/v_i) はほぼ $-R_2/R_1$ となる。また、 v_s の値はほぼ 0 と見なせ、反転端子の電圧は非反転端子の電圧にはほぼ等しくなるので、反転増幅器の入力インピーダンスは v_i/i_1 であるからほぼ ㉒ となる。



[正解] ㉑ = $(v_i - v_s)/R_1$, ㉒ = $(v_s - v_o)/R_2$, ㉓ = R_1

[解説] この問題では、演算増幅器を用いて反転増幅器を設計する際の注意すべき点を問題にしている。

$i_2 = (v_s - v_o)/(R_2 + R_0)$ であるが、 R_0 が無視できるため $i_2 = (v_s - v_o)/R_2$ となる。

$v_s = 0$ と見なすことは、演算増幅器のマイナス端子が仮想接地、仮想短絡などと呼ばれている由縁である。

入力インピーダンスは、入力端子に電圧 v を加えたときに入力端子を流れる電流が i のとき v/i で与えられる。したがって、入力インピーダンスは $v_i/i_1 = R_1$ となる。

【問題14】 A/D変換について、誤っているのはどれか。その番号を解答欄⑳にマークせよ。[4]

- a. アナログ信号に含まれる最高周波数成分が100 Hzのとき、サンプリング間隔は理論的に5ミリ秒以下でなければならない。
- b. サンプリングによって、アナログ信号に含まれていた直流成分の情報は失われてしまう。
- c. サンプリング周波数が低すぎると、エイリアシング (aliasing) がおこる。
- d. 前処理として一般に高域遮断フィルタをかける。
- e. 8ビットで均一量子化する場合、量子化による誤差はフルスケールの1～2%程度になる。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】⑳=7)

- a. サンプリング周波数は200 MHz以上、つまりその逆数であるサンプリング間隔は5ミリ秒以下でなければならない。
- × b. サンプリングによって情報が失われるのは、理論的にサンプリング周波数の1/2以上の周波数成分である。それ以下の周波数成分、したがって直流成分は失われない。
- c. サンプリング周波数が低いと、サンプルされた信号の周波数スペクトルにおいて信号スペクトル同士で重なりが生じるので、これが雑音になる。
- d. 不要な高周波成分を除去して、エイリアシングが起きないようにする。
- × e. 8ビットで量子化すると、量子化のレベル数は $2^8 = 256$ になる。これを信号のフルスケールに均一に割り当てると、誤差は $1/256 = 0.0039\dots$ 、つまり約0.4%になる。

第2回午前の部

【問題15】 信号処理について、誤っているのはどれか。その番号を解答欄⑳にマークせよ。[4]

- a. フィルタの出力において、通過電力が1/2になる周波数を遮断周波数と呼ぶ。
- b. 移動平均の処理は、低域遮断フィルタをかけることに相当する。
- c. ランダムな雑音の中に繰り返し信号が含まれている場合、同期加算を100回行うとSN比は10dB改善される。
- d. 自己相関関数を求めることによって、信号の周期性についての情報が得られる。
- e. 非周期信号をフーリエ変換すると連続スペクトルが得られる。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

[正解] ⑳=5)

[解説]

- a. 第1回午前【問題14】の解説参照。
- × b. 平滑化は高周波成分を除去する、つまり高域遮断フィルタをかけることによって行われる。移動平均は平滑化の1つの方法である。
- × c. 同期加算(加算平均)を n 回繰り返すと、S/Nは \sqrt{N} 倍に改善される。100回の加算ではS/Nは10倍になる。
- d. 時系列信号を $x(t)$ で表したとき、 $x(t)x(t+\tau)$ の平均を求めた関数 $R(\tau)$ が自己相関関数である。一定時間 τ だけ離れた時点での値が互いにどれだけ関係しているかを示す関数である。
- e. 第1回午前【問題14】の解説参照。

【問題16】 変調方式について、誤っているのはどれか。その番号を解答欄⑳にマークせよ。[4]

- a. AMにおいて、搬送波の周波数が f_c で、変調信号のスペクトルが $f_a \sim f_b$ の範囲にあるとき、被変調波のスペクトルは $(f_c + f_a) \sim (f_c + f_b)$ の範囲に分布する。
 - b. FMでは、変調を深くすると被変調波のスペクトル範囲が広がる。
 - c. PCMは雑音に強いが、広帯域の伝送路を必要とする。
 - d. 時分割による多重化方式では、受信側でフィルタによりチャンネルを分離する。
 - e. FSKやPSKは、データ通信においてアナログ回線を利用するときに使われる変調方式である。
- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

[正解] ㉓ = 3)

[解説]

- × a. 第1回午前【問題15】の解説参照。
- b. 同上。
- c. PCM (Pulse Code Modulation) は、信号をA/D変換してその符号を送る方式であり、AMやFMなどの正弦波変調に比べ雑音に強い。しかし、デジタル信号を高速に伝送する必要があるため一般的に広い帯域幅の伝送路が必要となる。
- × d. 第1回午前【問題15】の解説参照。
- e. FMでデジタル信号(0と1)を送るときは2種の周波数の切り替えになり、これを特にFSK (Frequency Shift Keying) と呼ぶ。同様にPMの場合は0と1による位相の180度反転になり、これをPSK (Phase Shift Keying) と呼ぶ。これらは、MODEMにおける変調に使用される。

【問題17】 コンピュータについて、次の各文の□に当てはまる適切な語句を解答欄⑥～⑩に記入せよ [2×4=8]

17-1 16進数の8Aを10進数で表現すると⑥になる。

17-2 0010011に付加する偶数パリティビットは、⑨である。

17-3 特定の問題を解く論理手順を⑩と呼ぶ。これを図式的に表現したものが、流れ図(フローチャート)であり、コンピュータ用言語で表現したものがプログラムである。

17-4 多数の整数データを小さい順に並べ直すような処理を一般に⑩と呼ぶ。

17-1

【正解】⑥=13

【解説】16進数では、通常1桁の数を0,1,2,...,9,A,B,C,D,E,F(A~Fで、10進数の10~15を表す)で表現し、16で桁あがりする。したがって、16進数の8Aは $8 \times 16 + 10 = 138$ を表す。4ビットの2進数は1桁の16進数で表現できるので、2進符号の長い表現を避けるために16進表現を使うことが多い。

17-2

【正解】⑨=1

【解説】情報を表現するビットに、全体で1の数が偶数になるように加える余分のビットを偶数パリティビットと呼ぶ。このようにすれば、処理や伝送の途中で発生した1ビット以下の誤りを検出することができる。奇数になるように付加しても同様である(奇数パリティ)。さらに付加するビットを増やして、一定条件下の誤りを訂正できるようにすることもできる。

17-3

【正解】⑩=アルゴリズム

【解説】プログラミングにおいては、データの表現(データ構造)とアルゴリズムの設計が基本となる。

17-4

【正解】⑩=ソート(ソーティング, 並換え, 整列, など)

【解説】多数のデータ項目(フィールド)からなるレコードの集合を扱うとき、特定の項目について並び換えるソート処理は、最も頻繁に使用される処理の1つである。データベースや表計算のソフトウェアには必ず組み込まれている。

【問題18】 電磁障害対策に直接関係しないのはどれか。その番号を解答欄 ㉔ にマークせよ。[4]

- 1) ノイズフィルタの使用
- 2) 信号パルス波形をなまらせる。
- 3) EMC 対策コネクタの使用
- 4) スイッチング電源の使用
- 5) シールド付き I/F ケーブルの使用

【正解】 ㉔ = 4)

【解説】 電磁波障害対策として、(1)妨害電磁波の放出を押さえることと、(2)妨害電磁波に対する耐力を高めることの両面がある。

妨害電磁波の放出を押さえるためには、(1)妨害波の発生そのものを減少させることと、(2)発生した妨害波は機器内部に閉じ込め、外部へは出さないようにするなどの対策が行われている。出題はこの対策手段に関するものである。

- × 1) ノイズフィルタは高周波成分を減衰させるフィルタであり、電源ラインや信号ラインに挿入して、妨害波の通過を阻止するために有効である。
- × 2) 信号パルス波形をなまらせると高調波成分が減少し、妨害波の発生を押さえることができる。RS232Cのように低速な信号伝送の場合は有効な手段である。
- × 3) 高周波領域ではシールド線をコネクタのピンを介して接地しただけではシールド効果が十分ではない。そこで、シールド線を機器の筐体と面接触させ、高周波領域においても十分なシールド効果を出す構造にしたものがEMC対策コネクタである。
- 4) スイッチング電源は原理的に妨害波を発生させるが、シールドとノイズフィルタの併用により外部への放出を防いでいる。従って、スイッチング電源の使用と電磁波対策とは直接的な関係は無い。
- × 5) シールド付きのI/Fケーブルの目的は、電磁波の放出と外部から電磁波の影響を防ぐ為のもので、EMC対策コネクタと組み合わせられて使用される。パソコン用のケーブルはこのような構造になっている。

第2回午前部

【問題19】 心電図テレメータ装置で患者の心電図をモニタしているとき、空気が乾燥する冬場になると、患者が少し動いただけでも心電図が大きく乱れることがある。患者は毛布(化繊)を掛けてベッドに横たわっており、歩き回ったりはしていない。

この乱れについて、その原因と対策について解答欄⑦に記入せよ。[6]

【正解】 ⑦=原因は静電気帯電であり、対策は純毛の毛布などを使用する。

【解説】 患者が化繊の衣服などを着用していると、摩擦により静電気が発生する。湿度が高い時あるいはB形機器などが接続されている時は、この静電気は大地に流れ帯電することはない。しかし、空気が乾燥する時期では使用しているME機器がCF形あるいは無線テレメータであれば、発生した静電気は逃げ場を失い患者に帯電してしまう。この電圧は数kVにも達するので、いかにCMRRが大きな機器といえども基線の動揺といった影響を受けることになる。

対策としては、静電気が帯電しないようにすることが必要である。例えば衣服の表面の比抵抗を $10^{10} \Omega/\text{cm}$ 程度にすれば化繊であっても帯電することはない。屋内の湿度を高めること、木綿や純毛なども効果がある。

第2回午前の部

【問題20】 医用電気機器の漏れ電流許容値は下表の如く JIS で定められている。
正しいのはどれか。解答欄 27 にマークせよ。[6]

連続漏れ電流の許容値

単位 mA

電 流	B 形機器		BF 形機器		CF 形機器	
	正 常 状 態	単一故 障状態	正 常 状 態	単一故 障状態	正 常 状 態	単一故 障状態
接地漏れ電流 (一般機器)	A	B	C	D	E	F
外装漏れ電流	G	H	I	J	K	L
患者漏れ電流 I (装着部から 大地に漏れる電流)	M	N	O	P	Q	R

(A~R は許容値を示す。ただし、 $A=0.5\text{ mA}$ 、 $I=0.1\text{ mA}$ 、 $Q=0.01\text{ mA}$ である)
(B, D, F は電源導線の1本の断線だけである)

- 1) 許容値の最小値は R である。
- 2) $A=C \neq E$
- 3) $B=D \neq F$
- 4) $N=J \neq L$
- 5) $A=G=M$
- 6) $G=I \neq K$
- 7) $H \neq J=L$
- 8) $M=O > Q$
- 9) $N=P=R$
- 10) $D=J=P$

【正解】㉗=8)

【解説】医用電気機器の漏れ電流許容値の基本的考え方を問う問題である。従ってテキストの許容値の表から基本的な部分を抜き出すと次のようになる。

連続漏れ電流の許容値 [mA]

漏れ電流	B形機器		BF形機器		CF形機器	
	正常	単一故障	正常	単一故障	正常	単一故障
接地	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
外装	0.1	0.5	0.1	0.5	0.1	0.5
患者	0.1	0.5	0.1	0.5	0.01	0.05

表から明らかのように 1.0 mA, 0.5 mA, 0.1 mA, 0.05 mA, 0.01 mA の数値を頭に入れてあれば、一般的な機器の漏れ電流については十分である。ただし、据置型や永久設置の機器あるいは装着部以外の部分に電圧がかかった場合の患者漏れ電流についてはテキストを熟読するとよい。











なお、患者測定電流については直流の許容値は形式によらず正常状態で 0.01 mA, 単一故障状態で 0.05 mA である。また交流の場合、B, BF 形では正常状態で 0.1 mA, 単一故障状態では 0.05 mA, ただし、CF 形機器の場合には直流の許容値と同じになる。

以上の知識があれば各解答は次のようになる。

- × 1) 許容値の最小値は $Q = 0.01 \text{ mA}$ 。
- × 2) $A = C \neq E$ は, $A = C = E = 0.5 \text{ mA}$ 。
- × 3) $B = D \neq F$ は, $B = D = F = 1.0 \text{ mA}$ 。
- × 4) $N = J \neq L$ は, $N = J = L = 0.5 \text{ mA}$ 。
- × 5) $A = G = M$ は, $A \neq G = M = 0.1 \text{ mA}$ 。
- × 6) $G = I \neq K$ は, $G = I = K = 0.1 \text{ mA}$ 。
- × 7) $H \neq J = L$ は, $H = J = L = 0.5 \text{ mA}$ 。
- 8) $M = O > Q$ は, $M = O = 0.1 \text{ mA}$, $Q = 0.01 \text{ mA}$ 。
- × 9) $N = P = R$ は, $N = P = 0.5 \text{ mA}$, $K = 0.05 \text{ mA}$ 。
- × 10) $D = J = P$ は, $D = 1 \text{ mA}$, $J = P = 0.5 \text{ mA}$ 。

第2回午前の部




















【問題21】 正しい組合わせはどれか。その番号を解答欄 にマークせよ。[4]

- 1)  ——— 停止
- 2)  ——— 部分回路切
- 3)  ——— 押している間だけ電源入
- 4)  ——— 三相交流
- 5)  ——— 保護接地
- 6)  ——— 警報
- 7)  ——— 注意
- 8)  ——— 心電図
- 9)  ——— 電極
- 10)  ——— アンテナ

第2回午前の部

[正解] ⑳ = 3)

[解説] テキストの医用電気機器の図記号表を参照のこと

- × 1)  は「即時停止」 停止は「  」
- × 2)  は「停止, 中断」 部分回路切は「  」
- 3)  は「押している間だけ電源入り」
- × 4)  は「交直両用」 三相交流は「  」
- × 5)  は「等電位化」 保護接地は「  」
- × 6)  は「警報一時切」 警報は「  」
- × 7)  は「緊急警報」 注意は「  」
- × 8)  は「不整脈」 心電図は「  」
- × 9)  は「紙送り」「フィード」 電極は「  」
- × 10)  は「電極」 アンテナは「  」

【問題22】 生体組織内での超音波吸収係数(α)は、水中とは様子の異なる周波数依存性を示す。

$$\alpha \propto f^k \quad (f : \text{周波数})$$

と表したとき、軟部組織では k は次のどれにもっとも近いか。その番号を解答欄

㉔にマークせよ。[4]

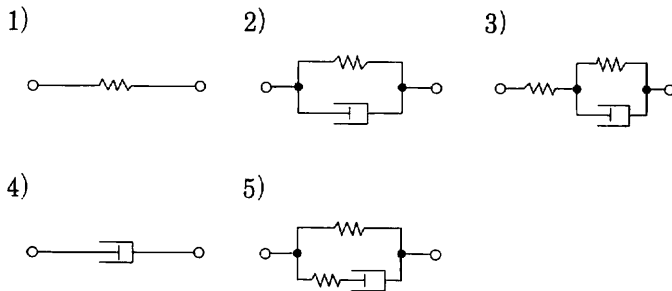
- 1) $\frac{1}{2}$ 2) 1 3) $\frac{3}{2}$ 4) 2 5) 3

【正解】 ㉔ = 2)

【解説】 細胞構造をもたない粘弾性体または流体や水では、超音波の吸収係数 α が周波数の2乗に比例すると言われる。しかし生体組織で実際に測定してみると、超音波診断に用いられる周波数を含む広い範囲で、ほぼ周波数(の1乗)に比例しているのが分かり、水や人工物などと全く異なっている。その原因は、十分に知られていないが、何らかの化学反応が関与するとも言われている。 $\alpha \propto f$ が成り立つのは超音波領域で、音響周波数の全域ではないが、生体組織の特異性として知っておくべき事実である。

第2回午前の部

【問題23】 生体組織の機械的な等価モデルとして図に示すものが考えられる。この中で、流動特性を表すのはどれか。その番号を解答欄③〇にマークせよ。[4]



注) : 弾性要素 (バネ)
 : 粘性要素 (ダッシュポット)

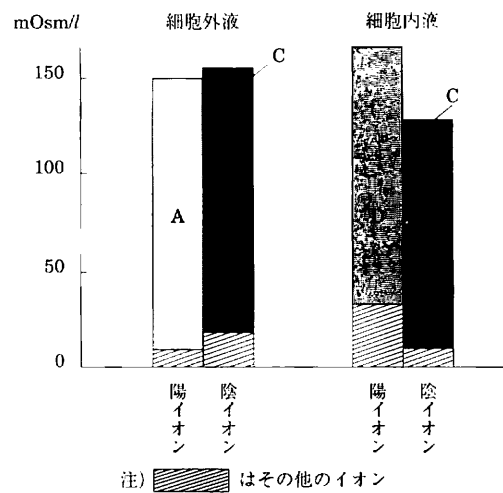
【正解】 ③〇 = 4)

【解説】 両端が弾性要素で連結されている1), 2), 3), 5)では変形しても力が除かれると、元に戻る。つまり流動特性とは云えない。この問題で両端が弾性要素で連結されていないのは4)の粘性要素そのもののものだけである。なお、流動特性を表すものには、ほかに例えば弾性要素と粘性要素が直列に結合された、マクスウェルモデルなど弾性要素を伴うものがある。

- × 1) 弾性要素のみのモデル。生体組織が厳密にこのモデルに適合することはないが、近似的には靱帯などが考えられる。
- × 2) フォークトモデルといわれ、固体的粘弾性を表す最も単純なものである。
- × 3) 生体のような少し複雑な固体的粘弾性を表すのによく用いられる。
- 4) 力を加えるとどこまでも変形する流動的特性を表す。ステップ状の変形を与えようとするとき極めて大きな力を要する。
- × 5) 上記3)とともに、生体のモデルによく用いられる。

【問題24】 細胞内外液の浸透圧濃度に寄与するイオン組成を調べた例を図に示す。主なイオンはAからEまでの5種類である。このうちCは次のどれか。その番号を解答欄③①にマークせよ。[4]

- 1) OH^-
- 2) Cl^-
- 3) HCO_3^-
- 4) BO_3^-
- 5) PO_4^{3-}



【解説】 細胞外液は母なる海を生物が体内に取り込んだと言われるようにナトリウムイオンと塩素イオンが主体だが、細胞内液はこれと全く異なり、カリウムイオンと磷酸イオンが主体になる。内外液に含まれるイオンに違いが生ずるメカニズムは、まさに生命現象そのものといえよう。ここではこれらイオン組成の違いにより、膜の静止電位が生ずることだけを理解すれば十分である。この問題ではとくに細胞内外液の両方に或る程度含まれている陰イオンについて問われている。なお、図のイオンは、A： Na^+ 、B： Cl^- 、C： HCO_3^- 、D： K^+ 、E： PO_4^{3-} 。

- × 1) OH^- ：水酸イオンは水でのイオン化がごくわずか。強アルカリであって、細胞内外液には無関係。
- × 2) Cl^- ：塩素イオンは細胞外液に最も多く含まれ、 Na^+ とともに、生体が海の記憶をひきずって陸に上がったからとされる。しかし図のCは細胞外液に最も多く含まれる陰イオンではなく、かつ細胞内液にも含まれる。
- 3) HCO_3^- ：炭酸イオンは細胞内外液に存在し、呼吸機能の低下とともに増大し、過多の場合アシドーシスに陥る。
- × 4) BO_3^- ：ホウ酸イオンで生体には無関係。
- × 5) PO_4^{3-} ：リン酸イオンで、細胞内液に多く含まれる。

【問題25】 脈波伝搬速度 (PWV) について、正しいのはどれか。その番号を解答欄 ㉓ にマークせよ。[5]

- 1) 血管内径が太いほど PWV は高い。
- 2) 血管壁厚が厚いほど PWV は低い。
- 3) 血管内圧が高いほど PWV は低い。
- 4) 血液密度が高いほど PWV は高い。
- 5) 血管壁の弾性率が大きいほど PWV は低い。
- 6) 大動脈の PWV は四肢の PWV より高い。
- 7) 冷気に触れると四肢の PWV は上昇する。
- 8) 血管内膜のコラーゲンが増加すると PWV は低下する。
- 9) 血管中膜のエラスチンが増加すると PWV は上昇する。
- 10) PWV の測定は脈波のピークで行う。

【正解】 ㉓ = 7)

【解説】 血圧波形の伝搬速度すなわち脈波伝搬速度 (pulse wave velocity : PWV) が何によって決定されているのかを問う問題である。血流速度より早い速度で圧波形だけが伝搬する現象については古くから関心が持たれており、近年動脈硬化度の客観的診断指標として認められている。PWV の最も単純な式は、

$$PWV = \sqrt{E \cdot h / (\rho \cdot D)}$$

で示される。しかし、血管の物理的な粘弾性特性が刺激や血管作動物質によって変化する。

また、同一個体でも血管部位、血圧、環境温度によって変化する。また、PWV の加齢に伴う上昇は血管組織の変化によることも明らかになっている。

第2回午前の部

- ×1) 式から明らかなごとく、血管が太いほど PWV は小さい。
- ×2) 血管壁の厚さが増すほど、弾性率(弾性ではない)が上昇し、PWV は増加する。式の E が上昇する。
- ×3) PWV の血圧依存性は大きく、血管組織が同じでも血圧が高いほど、血管径は大きくなり、血管壁に働く張力は増し、血管壁は緊張状態になる。従って血管壁は堅くなり、PWV は上昇する。
- ×4) PWV は血管内に充満する液体の密度にも依存する血液密度が増せば伝搬エネルギーは損失を生じ、伝搬が抑制され、PWV は低下する。
- ×5) 血管壁の組織が変化し、堅くなれば(その弾性はなくなり)弾性率は上昇し、PWV は大きくなる。
- ×6) 式から明らかなように太い血管ほど PWV は低い。成人男性では大動脈 PWV は 2 ~ 3 m/s であるが、頸動脈では 10 m/s を越える。
- 7) 四肢の PWV は外気温に影響されやすい。冷気では血管は収縮し、PWV が増加することが知られている。
- ×8) 血管組織の分析から内膜中のコラーゲンの増加は PWV を上昇させることがわかっている。
- ×9) 一方中膜ではエラスチンの増加が血管の弾性を増やし(弾性率は下がり)、PWV の低下することが分かっている。
- ×10) PWV 計測には圧波形の立ち上がりで行うものと、波形間の相関で求める方法が普及している。波形のピークはトランスデューサによる圧迫や末梢からの反射特性などによって変化するため PWV の測定には向かない。

【問題26】 神経や筋を電気刺激する場合について、正しいのはどれか。その番号を解答欄③③にマークせよ。[4]

- 1) 2本の電極を当てて刺激を加える場合、電極から組織へ電流が流れ込む側の電極の真下が興奮する。
- 2) 絶対不応期の長さは刺激電流の強さに依存する。
- 3) 刺激頻度を高めていくと、筋は収縮したままの状態になる。
- 4) 刺激条件がクロナキシーの場合、その3分の1の刺激電流を続けて3回加えると興奮が生じる。
- 5) 神経線維では、軸束の末梢側を電気刺激しても細胞体に向けては興奮が伝搬しない。

[正解] ③=3)

[解説] 電気刺激では、神経や筋の膜電位を脱分極、つまり細胞内の電位が負から正の方向に変化するよう外部から通電することで興奮が生ずる。これは細胞内から細胞外へ向けて膜を通過する電流であり、細胞膜の近くに負側の電極がある場合に相当する。また、絶対不応期とは刺激条件によらず次の刺激を受け付けない期間である。筋の強縮、クロナキシー、神経線維の興奮伝搬についても、神経生理学の基礎であり、よく理解しておいてほしい。

- × 1) 前記のように、電極の真下にある組織の細胞に関しては脱分極により興奮が生ずる電流は、組織から電極へ向けて回収される電流であって、電極から組織へ流れ込む電流ではない。2本の電極を当てて刺激を加える場合、負側の電極の真下が最も興奮しやすくなる。
- × 2) 絶対不応期と相対不応期は次の興奮の発生が刺激強度に依存するかどうかによって明確に区別される。絶対不応期の長さは興奮性細胞に固有であって、刺激条件に依存しない。
- 3) 刺激頻度が高まると、筋は力瘤のように、収縮したままの強縮の状態を維持できる。
- × 4) クロナキシーは刺激閾値の2倍であり、その3分の1では刺激閾値に達しないので何回続けて加えても興奮は生じない。
- × 5) 一般に神経線維には興奮伝搬の方向性が認められず、非生理的な逆方向の興奮伝搬が起こりうる。

【問題27】 文中の□に当てはまる語句を下記から選び、その番号を解答欄□34～□36にマークせよ。[3×3=9]

図は微小電流により組織インピーダンスを測定するため、平行平板電極にはさまれた生体組織の模式図を示す。

生体組織は細胞膜に包まれた細胞内液が細胞外液に囲まれてできあがっている。細胞膜内面上には一様にマイナス電荷(N)が分布し固定されており、細胞膜外面近くに外部電界により移動できるプラス電荷(P)が分布している。

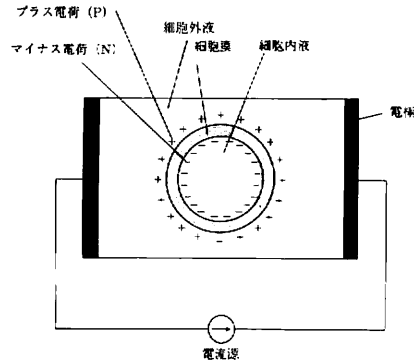
測定電流の周波数を0から次第に増加させていくと、まず始めに□34が電界の変動に追従できなくなり、組織のインピーダンスは減少する。この現象は α 分散と呼ばれている。

さらに周波数を増加し、10数kHz程度になると□35が減少し細胞内液抵抗の影響が始め、組織インピーダンスは周波数の増加と共に減少する。この現象は β 分散と呼ばれている。

さらに周波数を数GHz以上に増加すると□36が電界の変動に追従できなくなり、組織インピーダンスはさらに減少することになる。この現象を γ 分散と呼ぶ。

- 1) 細胞内外液内のタンパク質
- 2) 細胞内液インピーダンス
- 3) 細胞外液インピーダンス
- 4) 細胞膜インピーダンス
- 5) 水分子によるダイポール
- 6) 水分子と電解液内イオンによるダイポール
- 7) Pと細胞膜容量
- 8) Pと細胞外液内タンパク質によるダイポール
- 9) PとNによるダイポール
- 10) Nと細胞内液内タンパク質によるダイポール

第2回午前部



[正解] ③4 = 9), ③5 = 4), ③6 = 5)

[解説] 生体組織の電気インピーダンスには主に α , β , γ 分散が存在する。 α 分散は組織内に分布するイオン雰囲気に関係しているとされている。問題のモデルは最も一般的なもので、細胞膜内にマイナス電荷が固定して分布している。細胞外には容易に移動できるプラスイオンが分布しており、固定されたマイナスイオンとダイポールを形成している。この状態に交番外部電界を印加すると、プラスイオンはこの外部電界を弱めるように移動する。この現象はダイポールが交番外部電界に沿って配向している状態である。したがって、組織電気インピーダンスは非常に大きくなる(導電率は小さい)。交番外部電界の周波数を増加していくとダイポールが電界の変化に追従できなくなり、ダイポールにより外部電界を弱めることができなくなる。組織の電気インピーダンスは減少することになる(導電率は増加する)。この現象を α 分散と呼ぶ。

組織を形成している細胞は、細胞内液(0.9%の食塩水と考えればよい)が電氣的には絶縁物で電気容量の大きい細胞膜で包まれた物と考えられるため、外部から印加された交番電流の周波数が低い場合、電流は細胞外液部分を通ることになる。周波数が増加すると共に細胞膜を通して電流が流れ始め細胞内に電流が流れ始める。実際には膜内に電流は流れていないのであるが、膜内の電界が外部電界にしたがって変化し、膜面上の電荷分布が変化し電流が流れている状態とほぼ同様の現象が起きている。これを変位電流とよんでいる。さらに周波数が増加すると、細胞膜の電位差が小さくなり最終的に電位差は無視できるようになる。この結果、組織のインピーダンスは細胞外液と細胞内液だけとなる。以上の現象で組織のインピーダンスは周波数の増加と共に減少する(導電率の増加)。この現象を β 分散と呼ぶ。

さらに周波数が増加すると、水の分子のダイポールによる分散が生じる。これを γ 分散と呼ぶ。

【問題28】 医用材料の安全性試験とその方法の組み合わせで、正しいのはどれか。

その番号を解答欄⑳にマークせよ。[3]

- a. 物性試験 — 機能評価
- b. 溶出物試験 — 質量分析
- c. 皮内反応試験 — 皮内注射
- d. 急性毒性試験 — 静脈注射
- e. 溶血性試験 — 血液混和

- 1) a, b, c 2) a, b, d 3) a, b, e 4) a, c, d
- 5) a, c, e 6) a, d, e 7) b, c, d 8) b, c, e
- 9) b, d, e 10) c, d, e

【正解】 ⑳=10)

【解説】

- × a. 物性試験は表面性状、外見、機械的特性などの物性に関する試験で、その材料の医用機能性を評価する試験ではない。
- × b. 溶出物試験は抽出液中の溶出物の存在や種類を確かめる定性試験で、溶出物の分子組成や定量性を明らかにする試験ではない。
- c. ウサギなどに皮内注射し、紅斑、浮腫、出血などの有無を確認する。
- d. マウスなどに静脈注射し毒性の有無を確認する。
- e. ウサギなどの血液と混和し溶血の有無を確認する。

第2回午前の部

【問題29】 セラミックス材料を下記の語群より3つ選び、その組み合わせで正しいのはどれか。その番号を解答欄⑳にマークせよ。[3]

- a. コバルト b. 天然ゴム c. ポリスルフォン
d. 酢酸セルロース e. コラーゲン f. ハイドロキシアパタイト
g. バイオガラス h. アルミナ i. シアノアクリレート
j. メチルメタクリレート

- 1) a, b, c 2) a, b, j 3) a, i, j 4) b, c, d
5) c, d, e 6) d, e, f 7) e, f, g 8) f, g, h
9) g, h, i 10) h, i, j

【正解】 ⑳= 8)

【解説】

- × a) コバルト：コバルト－クロム合金 (Co-Cr) は金属材料。
× b) 天然ゴム：弾性のある天然高分子材料。手術用手袋、バルーンカテーテルなどに利用されている。
× c) ポリスルフォン：合成高分子の1つで、血液浄化膜などに利用されている。
× d) 酢酸セルロース：天然セルロースをアセチル化した高分子材料。
× e) コラーゲン：生体結合組織に存在する繊維。人工皮膚や止血材に利用されている。
× i) シアノアクリレート：液状高分子材料。医用接着剤に利用されている。
× j) メチルメタクリレート：液状高分子材料。骨セメントに利用されている。

セラミックス材料は、さらに以下のように分類することができる。

生体不活性材料：アルミナ (Al_2O_3)、ジルコニア (ZrO_2)、カーボン

生体活性材料：バイオガラス、ハイドロキシアパタイト ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$)

生体分解性材料：リン酸三カルシウム ($Ca_3(PO_4)_2$)

第2回午前の部

【問題30】 医用材料の生体適合性について，解答欄④に100字以内で説明せよ。[9]

【正解】 ④＝解答例として、「生体反応を起こさずに，材料本来の機能を発揮させる性質。具体的には，生体非活性（非異物性）の他に，力学的適合性，血管適合性，組織適合性なども含まれる」など。

【解説】 医用材料の生体適合性について，確固たる定義がないのが現状である。上記回答例に記述されたキーワードが含まれているか，それらを具体的に示した記述があれば回答としては十分と思われる。また，完璧な意味で生体反応を起こさない医用材料はなく，反応の少ない材料も広義には生体適合性の高い材料と言われている。

第2回午後の部

【問題1】 わが国の現在の診療報酬制度に関する次の事項のうち、誤っているのはどれか。その番号を解答欄①にマークせよ。[4]

- 1) 医療機器の使用にあたり、機器によっては診療報酬を請求できない場合もある。
- 2) 社会保険の家族の医療費については、入院の場合の自己負担率は2割である。
- 3) 老人保健制度による医療を受ける場合、定額の一部負担金を支払う必要がある。
- 4) 同一患者の同一の疾患の診療にあたり、保険診療と併行して自費診療を行うことはできない。
- 5) 老人保健制度による医療の対象者は70歳以上の人に限られている。

【正解】①=5)

【解説】わが国の診療報酬制度と医療保険制度に関する基本的事項に関する問題である。それぞれの事項について正しいかどうかを見てみると、

- 1) 治験として使用する場合には、その医療機器を使用する技術・処置・療法が診療報酬点数表に登載されていない場合は診療報酬を請求できない。
- 2) 社会保険の家族の診療費の自己負担は、外来では3割、入院では2割となっている。
- 3) 老人保健の対象者が医療を受ける場合、入院は、平成9年度は1日につき1,000円(平成10年度は1,100円、平成11年度は1,200円)、外来は、通院1回につき500円(支払いは月4回まで上限2,000円)を支払わなければならない。
- 4) 薬価基準に記載されていない医薬品を使用する場合や、医療機器など使用する技術・処置・療法が診療点数表に登載されていない場合、診療報酬を請求することができない。ただし、保険診療では認められていない技術・処置・療法あるいは薬剤であっても、医師が自分の医学的良心に基づいてこれらを施行ないし投与することは差し支えないが、保険診療と併行して自費診療を行ったり、保険診療に自費診療を継ぎ足した形での診療報酬は許されていない。したがって、これは正しいということになるが、高度先進医療を受けたり、特別室に入院するなど、特定療養費として認められているものについては、基礎部分が保険給付され、差額が自費となるので、この場合と紛らわしい。このため、4)の表現は舌足らずといえよう。
- ×5) 寝たきり老人の場合は65歳以上からが医療の対象となる。

【備考】平成9年9月1日に実施された医療保険の改正により、保険本人などの受療時における自己負担金が値上げされた(家族は変わらず)ほか、薬剤費が別途、徴収されることになった(1日につき1種類の内服薬のみ無料)。本問題のうち、この改正に直接、関係するものは3)であるが、自己負担金の金額そのものについては問われていないので、答は変わらない。なお、解説の3)に示された自己負担金の額は改正後のものである。

第2回午後部

【問題2】 次の解答欄〔A〕～〔D〕に適切な語句を入れ、一連の文章を完成せよ。ただし、同じ記号には同一の語句が用いられるものとする。[3×4=12]

平成7年7月から、製品の欠陥により消費者が生命・身体・財産などに損害をこうむった場合、製造者の過失の有無を問わず〔A〕を負う制度を法的に定めた〔B〕法が施行された。

この制度は医療分野では、医療用具と〔C〕に適用されるが、医療用具では使用者の〔D〕により使用結果が左右されるため、用具の欠陥によるものか、使用者の〔D〕の不足によるものかの判断が必要となる。

【正解】 A=損害賠償責任, B=PLまたは製造物責任, C=医薬品, D=専門知識または技量

【解説】 本問における文章は、PL (Product Liability, 製造物責任) 法に関する記述である。この法律によると、製品（医療分野では医薬品及び医療用具）の欠陥によって、消費者（医療用具の場合は患者および機器の使用者がこれにあたる）が生命・身体・財産などに損害を蒙った場合、消費者の過失の有無を問わず製造者が損害賠償責任を負うことになっている。医療用具を使用して、事故により患者などに損害が生じた場合、その原因が、使用方法や保守管理方法などに関してわかりやすく記したマニュアルを含めて製造物に欠陥があったため生じたものか、欠陥はないが、使用者がその医療用具を使用する場合に当然持っているべき知識や技量がなかったため生じたものかの判断が必要であり、後者の場合は、責任を問うことが困難となる。

【問題3】 医用電気機器の警報に関する JIS T 1031 について、正しいのはどれか。解答欄②にマークせよ。[6]

- a. 警報音が発生しているとき、これを止めることができてはいけない。
 - b. 警報音の周波数帯域は 15～20 kHz と定められている。
 - c. 注意報の表示光は黄色の連続点灯とする。
 - d. 警報音の最大音圧レベルの上限は定められていない。
 - e. 緊急警報は断続音とする。
- 1) a, b, c 2) a, b, d 3) a, b, e 4) a, c, d
5) a, c, e 6) a, d, e 7) b, c, d 8) b, c, e
9) b, d, e 10) c, d, e

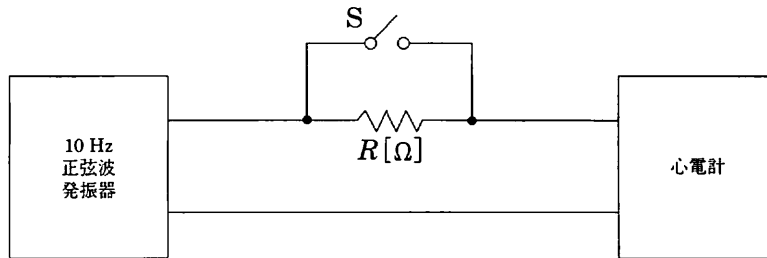
[正解] ②=10)

[解説]

- × a. 警報音は警報状態を発見者が確認すれば、鳴らし続ける必要は無いので、これを止める機構は持っても良い。これを警報の「一時停止」という。ただし、警報状態が続く場合、10分以内に一時停止は終わって、警報音は自動的に元に戻って鳴らなければならない（自動復帰の機能）。
- × b. このような高い音では、人の注意を喚起することはできない（人間の可聴限界は 20 kHz 程度である）。警報の種類によって 300～2000 Hz と定められている。
- c. ランプなどの発光表示の場合、注意報は黄色の連続点灯である。
- d. 「警報音の最大音圧レベルは 70 dB 以上であること」と書かれている。このことは「70 dB まで出なければならない」ということであって、上限を定めたものではない。よって「上限は定められていない」は正しい。しかし、警報音と言えども、余り大きくては患者や操作者に害になるので、実際は定めるべきであろう。
- e. 緊急警報は 0.25 秒ごとに繰り返される 1000～2000 Hz の断続音と定められている。

第2回午後の部

【問題4】 図の回路で入力回路に直列に $R [\Omega]$ の抵抗を挿入して心電計の入力抵抗を測りたい。記録器の振れ幅は、スイッチ S がオンの時に $D1$ 、スイッチ S がオフの時に $D2$ であった。この心電計の入力抵抗はいくらか。その式を解答欄 \textcircled{E} に記入せよ。[8]



【正解】 $\textcircled{E} = R \times \frac{D2}{D1 - D2}$

【解説】 S が ON の時は、発振器の信号がそのまま心電計に入るので、振幅は大きい。この時の振れ幅 $D1$ は発振器の出力電圧を示している。一方、OFF の時は、直列抵抗 $R [\Omega]$ と心電計の入力抵抗で分圧されて心電計に入力される。よって、入力抵抗を R_{in} とすれば、OFF の時の振れ $D2$ は次式で表される。

$$D2 = D1 \times \frac{R_{in}}{R + R_{in}}$$

これより、 R_{in} を計算すると正解の式になる。

ただ、実際は R_{in} が数 $10 \text{ M}\Omega$ あると、 R も数 $10 \text{ M}\Omega$ にする必要があり、商用交流からの誘導を受け易く、測定には相当の雑音対策をしなければならない。

第2回午後の部

【問題5】 心電図テレメータについて、誤っているのはどれか。解答欄③にマークせよ。[5]

- a. 搬送周波数 428 MHz の波長は約 7 cm である。
- b. 送信機の送信出力の最大値は 1 mW である。
- c. デジタル方式の A 型送信機には心電図以外の生体信号を送ることも可能である。
- d. 病棟に張られたアンテナ線からの信号は同軸ケーブルで伝送する。
- e. 受信アンテナの長さは、心電図波形の最高周波数成分によって決められる。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】③=4)

【解説】心電図テレメータは特定小電力医用テレメータに分類され、平成元年4月に制定された電波法により医用テレメータの専用の帯域として420 MHz～450 MHz帯に6バンドの使用が割り当てられた。一方テレメータのもつ電波の周波数幅によりA型からE型までの5種類に分類されている。

- × a. 搬送周波数 f , 光速 c , とすると波長 λ との間には $c = f\lambda$ の関係がある。
 $c = 30$ 万 km であるので, $f = 428$ MHz では, $\lambda = 70$ cm となる。
- b. 医用テレメータの送信電波が他の医療機器や医療機器以外の機器に混信や干渉の影響を及ぼさないように, その出力は 1 mW 以下に制限されている。
- c. アナログ方式の A 型はチャンネル間隔が 12.5 kHz と狭いため, 例えば FM 変調で送信すると通常は心電図 1 ch のみであるが, デジタル方式ではマルチプレクサ等を用いて DFSK (Direct Frequency Shift Keying) の技術を使用すると心電図以外の生体信号も同時に送ることができ, 周波数帯の有効利用に役立つ。最近の医用テレメータは S/N の良いデジタル方式を採用しているメーカーが多い。
- d. 新しい電波法によるテレメータは UHF 帯が使われているため, 従来の VHF 帯に比較して電波強度の減衰も大きく, また受信される範囲も限定されることが多いため, 広い範囲を1台の受信器で受信するためには病棟の天井裏にアンテナ線を張る必要がある。このアンテナ線には誘電界あるいは放射界により送信器からの電波を取り込み, また比較的広い周波数範囲をカバーできる同軸ケーブル (通常解放同軸) が用いられる。
- × e. 受信アンテナの長さは UHF 帯の搬送周波数の波長によって決められる。心電図波形の最高周波数成分で決められるのは信号の A/D 変換時のサンプリング周波数である。

【問題6】 MRI検査を行う際、操作者が患者に対して注意すべきことを解答欄⑦に2つ書きなさい。[8]

【正解】⑦=ペースメーカを装備しているか、金属の装身具を身に付けていないか等

【解説】MRIは静磁場用磁石と傾斜磁場用コイル等が使われている。特に静磁場用磁石は0.5~2.0テスラ（1テスラ=10000ガウス）の超伝導磁石が使われていることが多い。従って強い磁性体の金属は強い力で超伝導磁石に引っぱられる。また体内に金属（人工関節、クリップ、ペースメーカなど）が埋め込まれている患者では画像を歪ませる原因となり、時にクリップ等の金属が飛び出して生命を危険にさらすことがあるので、検査前には体内の金属を確認することは無論、検査室内には鍵、ハサミ、時計、安全ピン、磁気カード類などを持ち込まない用十分に注意する必要がある。また点滴台、ストレッチャ、車椅子などの磁性体金属も持ち込まないように注意する。これらは全て非磁性体で作ったものを使用することが必要である。最近では手もみカイロ、補聴器、入れ墨等による事故も報告されている。MRI室の禁忌標示例を下図に示す。



磁場に注意



心臓ペースメーカ
などの体内金属



安全ピン、ピン



ハサミ、鍵



磁気カード

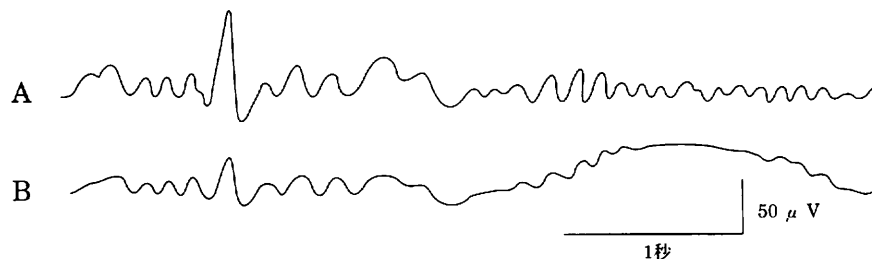


時計

第2回午後部

【問題7】 同じ電極から誘導した脳波を下図のように A, B チャンネルに同時記録した。A を正しい記録とすると B チャンネルのような記録が得られた原因は何か。その番号を解答欄 ④ にマークせよ。[5]

- a. 高域遮断フィルタの遮断周波数が低すぎる。
 - b. 電源電圧の変動に対する CMRR (SVR) が低下している。
 - c. 電極の分極電圧が大きい。
 - d. ペン圧が低すぎる。
 - e. 低域遮断フィルタの時定数が大きすぎる。
- 1) a, b, c 2) a, b, d 3) a, b, e 4) a, c, d
5) a, c, e 6) a, d, e 7) b, c, d 8) b, c, e
9) b, d, e 10) c, d, e



【正解】④=3)

【解説】本問題は同じ電極から誘導したところに1つのヒントがあり、実際に出現した現象からその原因を推定するもので波形のもつ意味、現場での経験がないと難しい問題である。

Aチャンネルの記録が正しいとするとBチャンネルの波形歪みの特徴としてspike様の高振幅で先の尖った波の振幅は減少し、全体になめらかな波形を呈している。また大きな基線変動によって飽和している波形を呈している。

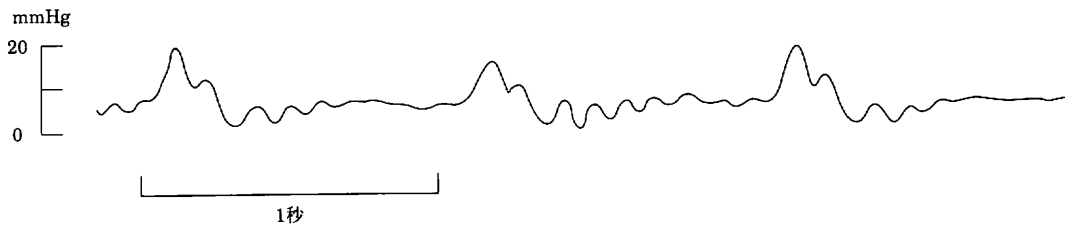
- a. 高域遮断フィルタの遮断周波数が低すぎると高い周波数成分をもつspike様の波は振幅低下をまねく。また小さな波の変化もなめらかな波形になる。
- b. 電源電圧の変動があると基線変動を生じる。この場合A、Bチャンネルに供給される電源が同じでも増幅器側の回路に起因するSVR（またはCMRR）の低下によって生ずる事が考えられる。
- × c. 電極に由来する分極電圧あるいは電極電位の変化であれば電極は共通であるためAチャンネルにも基線変動が生じるはずである。Bチャンネルの変動による脳波振幅の極端に低下している部分は大きな基線変動のために記録が飽和していることに起因する。
- × d. ペン圧が低すぎると高振幅なspike波はさらに高振幅となり、波の先が尖ってくる。
- e. 低域遮断フィルタの時定数が大きく、より低域周波数成分まで増幅対象となるため、不必要な基線変動を含む低域周波数成分まで記録されることになる。

第2回午後部

【問題8】 図はカテーテルによる肺動脈圧の記録波形である。この波形から正しい記述はどれか。その番号を解答欄⑤にマークせよ。[4]

- a. トランスデューサのコンプライアンスが小さすぎる。
- b. トランスデューサの零点が上昇している。
- c. 延長チューブが硬すぎる。
- d. 測定系が共振している。
- e. ダンパによる調整が不十分である。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e



【正解】⑤=10)

【解説】この問題は正常な肺動脈圧(15/7 mmHg 程度)とその記録波形の理解が必要であり、かつカテーテルやトランスデューサの周波数応答に関して、その固有振動数(共振周波数)と制動係数についての知識が必要である。

- × a. カテーテルをもちいた圧波形記録ではカテーテルやトランスデューサを含んだ系全体の f_0 が高いことが必要であり、また制動係数は 0.6 程度が望ましい。制動係数を大きくとると f_0 は低くなり、小さすぎると f_0 は大きい振動の大きな波形となる。但しこの系の中で最も大きく影響するのはカテーテルや延長チューブであり、通常トランスデューサそのもの誤差は少ないと考えられる。事実カテ先トランスデューサではこのような問題は起きにくい。従って問題のトランスデューサそのもののコンプライアンスが小さ過ぎるは誤りとすべきである。しかし本問題はカテーテルを含んだ時の共振系全体と考えた場合には誤りとはいえないので不親切な問題といえる。
- × b. 記録波形の振動成分を除いた場合の推定される圧はほぼ 15/7 mmHg 付近におさまっているため、トランスデューサの零点の上昇は考えにくい。
- × c. 記録の振動を少なくするためには延長チューブのコンプライアンスが小さく、従って硬く短いものが望ましいが、現実には硬すぎると実用的でない。本問題の記録に振動があるのは延長チューブが硬過ぎるは誤りである。
- d. 明らかに振動波形が認められるので測定系の共振が考えられる。
- e. 共振を抑制する手段としてダンピングデバイス(ダンパ)による調整が必要であるがこの場合は調整が不十分であるため振動波形が出現している。

【問題9】 心電図自動解析装置について、誤っているのはどれか。その番号を解答欄⑥にマークせよ。[5]

- 1) フィルタ特性は R 波の検出に影響を与えるため、アナログ部での特性にも十分注意する。
- 2) 雑音が多い場合、区分点確認の間違いによって ST 偏位等に対して誤った結果が出力されることがある。
- 3) 基線動揺を軽減するために時定数を短くすると ST 部分を歪ませる要因となる。
- 4) AD 変換器のサンプリング数は 500 であるが、ペースメーカーパルスの検出特性を改善するため、250 Hz であったアナログ部の遮断周波数を 1 kHz まで上げた。
- 5) データ収集時間が短いと不整脈解析に影響を与える。

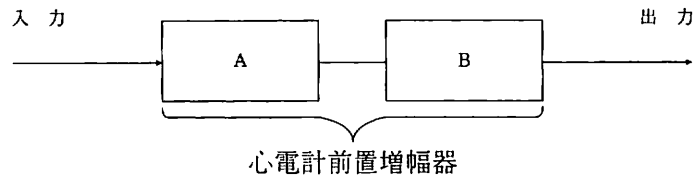
[正解] ⑥=4)

[解説] 本問題は心電図の自動解析装置の精度に関する基本的要件について問いている。

- 1) この設問はフィルタ特性を特定していない点で若干曖昧な表現であるが、R波やQ波のような高域成分をもつ波を検出するためには高域特性を十分に確保しなければならないことを意味している。
- 2) STの偏位部分は振幅も小さいことが多く、特にS波からT波の起点部分に雑音が混入すると現在の自動検出アルゴリズムでは、その区分点の検出に誤りを生ずることが多い。
- 3) 心電計の時定数は3.2秒すなわち低域遮断周波数は約0.05 Hzであるが、低域周波数成分に富んだST部分の波形を最低限検出するために必要なフィルタである。しかし基線動揺を少なくするために一部のモニタで使用されている時定数1.0秒程度を用いるとST部分を歪ませる要因となるため、特に診断機器としての心電計では時定数を短くすることは良くない。
- ×4) ペースメーカーパルスは高周波成分をもっているためアナログ部の高域特性を上げるのは良いが、デジタル処理をしている自動解析装置ではA/D変換器のサンプリング数でその特性は決まってくる。従ってサンプリング数が500である以上実質的な高域特性は250 Hz以上には上がらない。現実にはエアリシング等の前処理をしているため、170 Hz程度の特性しか持たない。
- 5) 呼吸性の不整脈などの判定をするためには少なくとも3～4呼吸程度の心電図記録のデータ収集が必要である。すなわち1呼吸4心拍とすると少なくとも12～16心拍の心電図データの収集が必要である。

【問題10】 入力換算内部雑音 $10\ \mu\text{V}$ 、増幅度 $20\ \text{dB}$ の増幅器 A と入力換算内部雑音 $100\ \mu\text{V}$ 、増幅度 $40\ \text{dB}$ の増幅器 B を下図のように接続して心電計の前置増幅器を構成した。心電計前置増幅器の入力換算雑音で正しいのはどれか。その番号を解答欄 にマークせよ。[5]

- 1) $10\ \mu\text{V}$ 2) $14\ \mu\text{V}$ 3) $20\ \mu\text{V}$ 4) $100\ \mu\text{V}$ 5) $110\ \mu\text{V}$



【正解】 ⑦ = 2)

【解説】 入力換算内部雑音はホワイトノイズに近いランダム雑音と一般に考えられる。

増幅器 A の出力側の雑音は

$10\ \mu\text{V} \times 20\ \text{dB} = 100\ \mu\text{V}$ である。

この増幅器 A の内部雑音 $100\ \mu\text{V}$ は増幅器 B の入力端に入力する雑音でもある。一方増幅器 B の入力端には増幅器 A の $100\ \mu\text{V}$ と増幅器 B の入力換算雑音が加算されたことになる。結局 $100\ \mu\text{V}$ のランダム雑音が2回加算された値となり2倍とはならず $\sqrt{2}$ 倍の $100\ \mu\text{V} \times \sqrt{2} = 141\ \mu\text{V}$ となる。従ってこの心電計の前置増幅器全体の入力換算雑音は増幅器 B の増幅度に関係なく増幅器 A の増幅度 $20\ \text{dB}$ のみ関係する。

すなわち

$141\ \mu\text{V} \div 20\ \text{dB} = 14.1\ \mu\text{V}$ ということになる。

しかし増幅器 B の出力の雑音は

$10\ \mu\text{V} \times (20\ \text{dB} + 40\ \text{dB}) + 100\ \mu\text{V} \times 40\ \text{dB} = 20\ \text{mV}$ となり

これより入力換算雑音は $20\ \text{mV} \div 60\ \text{dB} = 20\ \mu\text{V}$ と計算されがちであるので注意を要する。

【問題11】 理論的な pH ガラス電極の pH 1 あたりの起電力は 25℃で 59 mV である。今ガラス膜抵抗が約 12 MΩ である場合に、pH を ±0.001 の誤差以内におさめるためにはシステム測定系からガラス膜抵抗に流れるゲート暗電流はいくら以下にすればよいか。解答欄 に有効数字 2 桁で記入せよ。[6]

【正解】 ㊦ = 4.9×10^{-12} A

【解説】 pH ガラス電極は薄いガラス膜を隔てて pH の異なる 2 種類の溶液を置くとガラス膜抵抗間には pH 差に比例する起電力が生ずる。pH 計は薄いガラス膜抵抗間の電位差を高入力抵抗をもつ増幅器で測定している。しかし増幅器のゲート（電解効果トランジスタ）よりガラス膜抵抗側にリークするゲート暗電流によって、ガラス膜抵抗間にゲート電流による電位差が生じてしまう。これが測定上の誤差となる。本問題はこの誤差を計算させるものである。

pH 1 あたりの起電力は 59 mV であるので、pH を 0.001 以内の誤差にするための起電力誤差は $59 \text{ mV} \times 10^{-3}$ 以内にすればよい。

今ガラス膜抵抗が約 12 MΩ であるので、ガラス膜抵抗に流れる誤差要因となるゲート暗電流を X とすると、

$$12 \text{ M}\Omega \times X = 59 \text{ mV} \times 10^{-3}$$

従って $X = 59 \times 10^{-6} \text{ V} \div 12 \times 10^6 \Omega = 4.9 \times 10^{-12} \text{ A}$

第2回午後の部

【問題12】 図のように腕に心電図モニタ用電極 (a~d) をはりつけた。B形心電計の右手電極を (a) に、左手電極を (b) に、右足電極を (c) にそれぞれ接続し、さらに (c)(d) 間に低周波発振器から 10 Hz, 1 V_{PP} の正弦波を入力した。心電計を第 I 誘導、標準感度に設定したところ、記録器には、10 mm_{PP} の波形が描かれた。

以上の状況を考え、解答欄 (G), (H) には正しい数値を記入し、解答欄 (8) には正しい番号をマークせよ。ただし、心電計自身の同相弁別比は 90 dB であったとする。

12-1 この心電図計測系の使用状態における同相弁別比は実質上いくらか。[8]

(G) dB

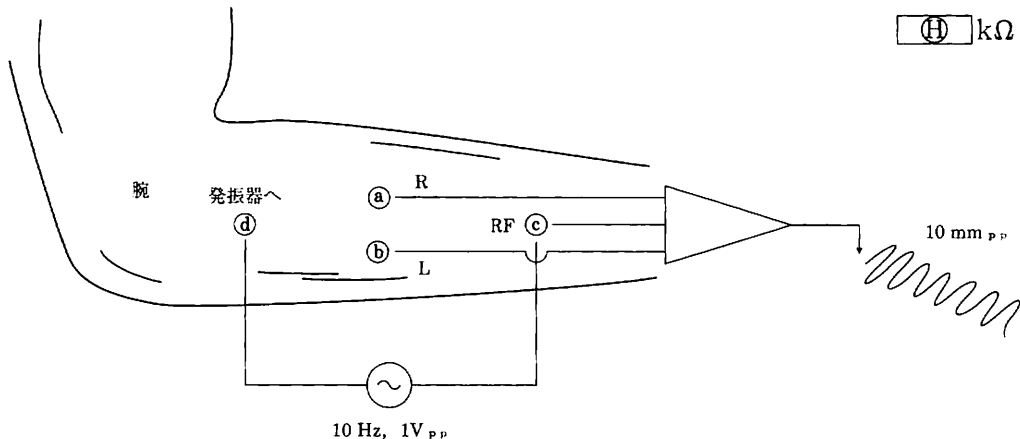
12-2 このような結果になった原因は、電極接触インピーダンスのアンバランス (差) にあったと思われるが、どの2つの電極でのアンバランスが主なる原因か。[4]

(8)

- 1) (a) と (b)
- 2) (b) と (c)
- 3) (a) と (c)
- 4) (a) と (d)
- 5) (b) と (d)

12-3 心電計の入カインピーダンスが 10 M Ω であったとすると、前問の2つの電極でのアンバランスはおよそ何 k Ω であったと思われるか。[8]

(H) k Ω



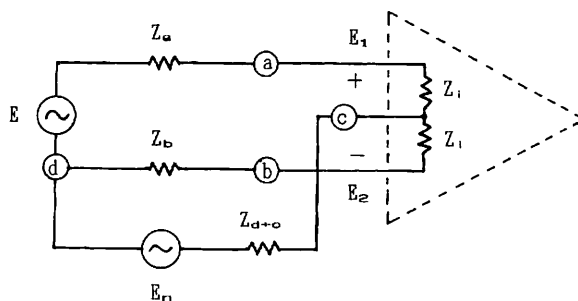
【正解】㉔ = 60 dB, ㉕ = 1), ㉖ = 10 kΩ

【解説】この問題は、電極接触インピーダンスと弁別比の関係（入力回路の弁別比）を問う問題である。

12-1 心電図計測系の標準感度は JIS で 10 mm_{PP} / 1 mV_{PP} と定めてあり、これは同時に逆相利得を示している。次に、図の cd 間に加えた 10 Hz, 1 V_{PP} は電極 a と b に対して同相で入力するので、これによる出力（記録器の振れ）10 mm_{PP} は同相利得と考えてよい。そこで同相弁別比は、同相弁別比 = 逆相利得 / 同相利得であるから、これにそれぞれの値を代入し、計算すると同相弁別比 = (10 mm / 1 mV) / (10 mm / 1 V) = 1000 倍 (60 dB) となる。

12-2 電極接触インピーダンスと心電図モニタの入力増幅部の入力インピーダンスとの関係を等価回路で示すと下図のようになる。

同図において、増幅器の+端子、-端子に加わる電圧 E_1 、 E_2 は、



$$E_1 = \frac{Z_i}{Z_a + Z_i + Z_{d+c}} (E + E_n) \cdots \cdots (1), \quad E_2 = \frac{Z_i}{Z_b + Z_i + Z_{d+c}} E_n \cdots \cdots (2)$$

となる。増幅器の入力電圧は E_i は、

$$E_i = E_1 - E_2 \cdots \cdots (3)$$

であるから、

$$E_i = \frac{1}{\{1 + (Z_a + Z_i) / Z_i\}} E + \frac{Z_i (Z_b - Z_a)}{(Z_a + Z_i + Z_{d+c}) (Z_b + Z_i + Z_{d+c})} E_n \cdots \cdots (4)$$

となる。ここで、設問 12-3 より、増幅器の入力インピーダンス (Z_i) は 10 MΩ としてあり、電極接触インピーダンス ($Z_a \sim Z_d$) は高々 100 kΩ を考えればよいから、 $Z_i > Z_a \sim Z_d$ となり、(4)式は、

第2回午後の部

$$E_i = E + \frac{Z_b - Z_a}{Z_a + Z_i + Z_{d+c}} E_n \dots\dots (5)$$

となり、これはまた上記条件 ($Z_i > Z_a \sim Z_d$) より、

$$E_i = E + \frac{Z_b + Z_a}{Z_i} E_n \dots\dots (6)$$

と整理出来る。したがって、電極接触インピーダンスと同相弁別比との関係は、同逆相利得/同相利得の関係から、

$$\text{相弁別比} = \frac{E_i / E}{E_i / E_n} = \frac{1}{(Z_b - Z_a) / Z_i} = \frac{Z_i}{Z_b - Z_a} \dots\dots (7)$$

となる。即ち、同相弁別比は、電極接触インピーダンス a と b のアンバランスによって決まる

(入力回路の弁別比)。

- 12-3 入力インピーダンス (Z_i) = 10 M Ω 、設問 12-1 で、同相弁別比は1000倍と求めているので、電極接触インピーダンスのアンバランスは、(7)式により $Z_b - Z_a = Z_i / \text{同相弁別比} = 10 \text{ M}\Omega / 1000 = 10 (\text{k}\Omega)$ となる。

【問題13】 超音波診断装置について、誤っているのはどれか。その番号を解答欄

⑨にマークせよ。[5]

- 1) 超音波パルス繰返し周波数が 5 kHz の場合、計測可能な深度は約 150 mm である。
- 2) 振動子の口径が大きいほど音波の到達距離が長い。
- 3) 超音波パルス繰返し周波数を上げると、超音波像のフレームレートが低下する。
- 4) 断層像を得るための検波方式は、AM ラジオと同じである。
- 5) ドプラ法におけるエイリアシング (aliasing) 現象は超音波パルス繰返し周波数が高いほど発生しにくい。

【正解】 ⑨ = 3)

【解説】

- 1) 生体内での超音波の速度は 1500 m/sec である。パルス繰返し周波数 5 kHz の超音波が1秒間に進める距離は、 $1500(\text{m/sec}) \times 1/5000(\text{sec}) = 300$ mm。往復を考えると計測可能な深度は $300/2 = 150$ mm となる。
- 2) 一般的に振動子の口径が大きいほどより強い強度の超音波を発生することができるので、到達距離が長くなる。
- × 3) フレームレート F と超音波パルスの繰返し周波数 f との間には、視野角 ϕ 、走査線ピッチ Φ 、カラー走査線本数を M 、とした場合、 $\phi = M\Phi = f\Phi/FN$ のようになる。したがって、表示角を 30° から 45° へ上げるとフレームレートはその逆数 $2/3$ 倍となる。
- 4) 断層像は、探触子に戻ってきた超音波を強度を AM 変調 (Amplitude Modulation) により検波し、その振幅の大きさを輝度に変換することにより得られる。
- 5) サンプル定理より、エイリアシング (折り返し現象) なく測定できる最高周波数 $f_{d_{\max}}$ は、パルス繰返し周波数を f_r とすると、 $f_{d_{\max}} = f_r/2$ となる。したがって、パルス繰返し周波数が高いほどエイリアシングは発生しにくい。

【問題14】 JIS T 1553「医用内視鏡装置」について、正しいのはどれか。その番号を解答欄⑩にマークせよ。[5]

- 1) 内視鏡の表面温度が41℃を超える場合は付属文書に明記し注意を促さなければならない。
- 2) イメージガイドファイバに、許される黒点は3点までである。
- 3) 医用内視鏡装置には必ず写真撮影を可能とする装置が含まれている。
- 4) ライトガイド方式は挿入部に電球が組み込まれていないので電気的には装着部として扱わなくても良い。
- 5) 内視鏡の照明・制御装置への着脱部分は一定形状と規定されているので、いかなるメーカーのものでも接続することができる。

【正解】⑩=1)

【解説】医用内視鏡装置は使用部位、目的により形状、構造などが多種多様であり、寸法、形状などの規格化は困難であることから、JIS T 1553「医用内視鏡装置」では、主として、安全性に関する規格が制定されている。また、体内に挿入される本体だけでなく、電気的安全性の見知から、電源装置、光源装置、送気装置なども含めて医用内視鏡装置として規定されている。

- 1) 先端電球方式、ライトガイド方式いずれにしても内視鏡先端の温度上昇は生じる。JIS T 1001では、加熱を目的としない装着部の表面温度は41℃を越えてはならないとされている。しかし、生体の体温はおよそ36℃であり、内視鏡先端の温度上昇を5℃以下に制限することは技術的に困難であるため、JIS T 1001は適用しない。しかし、41℃を越える場合は、附属便書に明記し注意を促さなければならない。
- ×2) 実用上差し支えがなければイメージガイドファイバに黒点、半透明点、すじ等があってもかまわない。
- ×3) 医用内視鏡装置は、内視鏡および照明・制御装置で構成されると規定されている。
- ×4) ライトガイドは光学繊維束なので電気的に絶縁されている。しかし、JIS T 1001で規定される電気的に装着部であることには変わらない。
- ×5) 形状に関する規定はない。

第2回午後の部

【問題15】 次の□の中に当てはまるものを解答群から選び、その番号を解答欄①～⑳にマークせよ。[2×11=22]

15-1 パルスオキシメータは波長①の赤色光と波長②の赤外光のそれぞれの動脈血における吸光特性の差と光電式③脈波との組合せにより動脈血の酸素④を測定するものである。

- 1) 460 nm 2) 660 nm 3) 805 nm 4) 910 nm 5) 圧
6) 分圧 7) 容積 8) 含量 9) 血流速 10) 飽和度

15-2 JIS T 1160 による眼振計では原波形に加えて⑤波形の記録のために⑥秒の時定数をもった⑦を使うことが要求されている。

この⑤波形の校正には⑧が出力される発振器を用いる。

- 1) 矩形波 2) 速度 3) 加速度 4) 3.0 5) 0.3 6) 0.03
7) 積分回路 8) クリッパ回路 9) 微分回路 10) 三角波

15-3 ⑨を用いたMRI装置では液体Heが必要であるが、これによる磁場強度は現在⑩程度まで使用可能となっている。さらに磁場強度を上げることが可能であれば⑪代謝の情報が実時間で見ることができる。

- 1) 常電導コイル 2) 超電導コイル 3) 永久磁石 4) 0.2 T
5) 2.0 T 6) 20 T 7) P 8) K 9) Cl 10) F

第2回午後の部

15-1

【正解】⑪=2), ⑫=4), ⑬=7), ⑭=10)

【解説】パルスオキシメータは指先, 鼻先, 耳垂などから採血すること無しに経皮的に波長 660 nm 付近の可視光 (赤色光) と 910 nm 付近の赤外光を用いて, それぞれの波長によるオキシヘモグロビンとデオキシヘモグロビンの吸光特性の違いにより, 全ヘモグロビンの吸光度に対するオキシヘモグロビンの吸光度の割合 (%) から酸素飽和度を計算する。この場合動脈血の酸素飽和度を検出するために吸光度が脈拍に同期している部分と組み合わせる方法が用いられている。

15-2

【正解】⑮=2), ⑯=6), ⑰=9), ⑱=10)

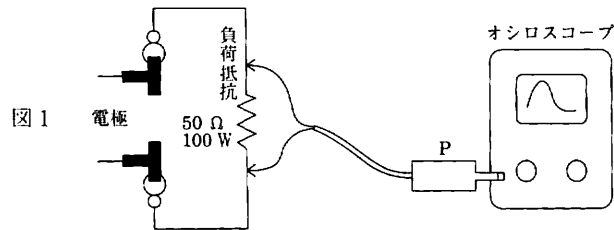
【解説】眼振計では原波形記録には3.0秒の時定数を用い, 速度波形を得る為の微分回路の時定数は0.003秒が用いられる。眼振計のJISでは速度波形を得る為の校正波として, 立ち上がり, 立ち下がりの同じ三角波が用いられ, 微分波形の校正波が方形波であることを確認する (第1回問題14参照)。

15-3

【正解】⑲=2), ⑳=5), ㉑=7)

【解説】MRIは強磁場であるほど高画質が得られるが, 生体には現在2.0T (テスラ) まで使用が可能であり, 強磁場を得るためにはコイルを超伝導にして大電流を流す必要がある。超伝導状態にするためには液体 He でコイルを冷却する必要がある。MRIの対象として現在 ^1H が主流であるが, ^{31}P , ^{13}C もMR信号は弱い在今后感度が改善されると画像の対象となる。無論磁場強度をさらに強くするとMR信号を大きくなり, ^{31}P の画像化も容易に可能になる。

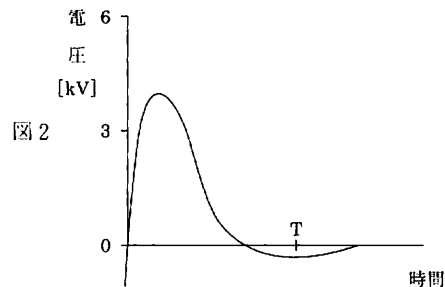
【問題16】 図1は除細動器の出力波形をオシロスコープで観察，点検するときの構成図である。以下の質問に答えよ。



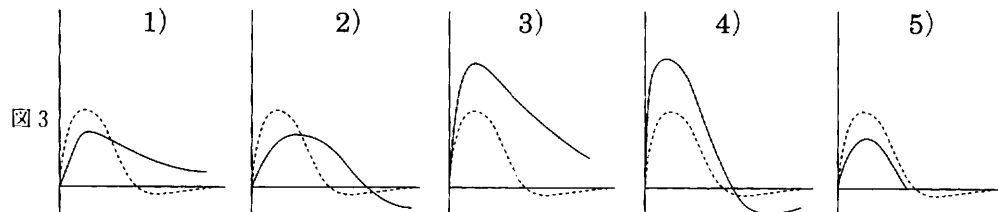
16-1 図1中の構成品Pは，負荷抵抗に発生する高電圧をオシロスコープに入力するための付属器具である。この器具の名称を解答欄①に記入せよ。[6]

16-2 出力設定エネルギー 360 J で充電後，放電したところ図2のようなやや不足制動型の正常出力波形が得られた。この図において，横軸（時間軸）上のT点の値として正しいのはどれか。その番号を解答欄②にマークせよ。[4]

- 1) 1 ms
- 2) 5 ms
- 3) 10 ms
- 4) 100 ms
- 5) 1 s



16-3 通電電極のペースト不足や押しつけ不足の状態では電極間抵抗が増大して除細動無効となる場合がある。図1において，負荷抵抗を数百Ωにしたときの出力波形はどのように変化するか図3の中から選びその番号を解答欄③にマークせよ（図中の点線は負荷抵抗が50Ωのときの出力波形である）。[4]



16-4 JIS T 1355 では心筋傷害を防ぐ目的で，「除細動器の100Ωの負荷抵抗器に対する最大出力電圧は， kV以下でなければならない」と規定されている。に入るべき数値を解答欄④に記入せよ。[6]

16-1

【正解】①=高圧プローブ/分圧器

【解説】出力波形を観察するときは通常 $50\ \Omega$ の負荷抵抗に出力をかけて計測するが最大電圧が $5\ \text{kV}$ 前後に達する。これを直接オシロスコープに入力すると破損の危険があるので電圧を分圧して観測する。この附属機器を高圧プローブ（分圧器）という。

16-2

【正解】②=2)

【解説】出力波形のパルス幅を原点から横軸（時間軸）を切る点までの時間とすると、出回っている除細動器のパルス幅は $2\sim 3\ \text{ms}$ が一般的なので図中の T の値としては $5\ \text{ms}$ が正しい。これを計算から求めるには、出力（供給）エネルギーは $(\text{出力電圧})^2 \times (\text{パルス幅}) / (\text{負荷抵抗})$ から算出できることを使えばよい。いま出力波形を矩形波に近似し出力電圧を $3\ \text{kV}$ 、負荷抵抗を $50\ \Omega$ とすると、出力エネルギーが $360\ \text{J}$ の場合パルス幅として $2\ \text{ms}$ の概算値が得られるので T の値は $5\ \text{ms}$ となる。

16-3

【正解】③=3)

【解説】通電時の出力波形は LCR の直列回路の放電式から解析できるが、負荷抵抗値が小さいほど波形は不足制動型（振動的）に、逆に大きくなるほど過制動型になり振動成分がなくなって波形はエクスポネンシャル（対数関数的）に減衰するカーブを描く。従来は問題の図中に点線で示すようなやや不足制動型の出力波形が採用されていたが最近では振動成分のみられない臨界型の波形が主流になっている。

16-4

【正解】①=5

【解説】出力エネルギーを大きくし過ぎると心筋傷害の合併を起こすので JIS T 1355 では $100\ \Omega$ の負荷抵抗器に対する最大出力電圧は $5\ \text{kV}$ 以下と定めている。

【問題17】 人工呼吸器について、次の各文の□の中にもっと適切に当てはまる語句を語群から選り、その番号を解答欄⑳㉑～㉒㉓にマークせよ。[3×5=15]

17-1 神経筋疾患や薬物中毒では、通常肺に異常がなく㉑のみが障害されているので、㉒や経済性を考慮して人工呼吸器を選択する。ARDSや多臓器不全患者では換気だけでなく㉓が障害されるため、各種換気モードを備えた人工呼吸器を選択しなければならなくなる。

- 1) 操作性 2) 易保守性 3) 多機能性 4) 耐久性 5) 見栄え
6) 換気 7) 拡散 8) 内呼吸 9) 酸素化 10) 炭酸ガス排泄

17-2 最近ではできるかぎり自発呼吸を残した状態で呼吸管理が行われているが、その中には、自発呼吸の全過程を通して気道内圧が陽圧に保たれている㉔や自発呼吸の吸気時に気道内に一定の陽圧をかけて自発吸気を支持する㉕などがあり、人工呼吸からのウィーニングに用いられている。

- 1) IPPV 2) CPPV 3) PEEP 4) CPAP 5) IMV
6) SIMV 7) MMV 8) PSV 9) IRV 10) HFV

【正解】 ㉑=6), ㉒=1), ㉓=9), ㉔=4), ㉕=8)

【解説】

17-1 : 肺に異常がなく換気のみ障害されている患者では、調節呼吸か補助呼吸以外のモードを必要とせず、吸気ガスも空気でのいいことがほとんどである。

17-2 : CPAPモードで吸気ガス流量が不足したりデマンドバルブが重かったりすると、吸気時に圧が低下して患者の呼吸仕事量が増え、患者に負担をかけることになる。したがって最近ではCPAPやSIMVモードにPSVを併用し、自発吸気時の患者負担を軽減するような使用方法が多くなった。

【問題18】 レーザについて、正しいのはどれか。解答欄⑳にマークせよ。[4]

- a. Nd:YAG レーザの光は、赤色に見える。
- b. 炭酸ガスレーザに、Nd:YAG レーザ用の光ファイバを流用することができる。
- c. Nd:YAG レーザに対しては、一般のガラス眼鏡で目を防護することができる。
- d. 内視鏡下で、Nd:YAG レーザを用いる場合は、保護用の眼鏡は、必ずしも必要でない。
- e. 炭酸ガスレーザ光は、水に良く吸収されるため、保護したい部位を、水に濡らしたガーゼなどで覆えば良い。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 ㉑=10)

【解説】

- × a. Nd:YAG レーザから発せられるレーザ光は、波長 1064 nm の近赤外光であり、人間の目には見えない。
- × b. Nd:YAG レーザ用の光ファイバに一般的に用いられている石英ガラスは、炭酸ガスレーザの遠赤外光を透過させにくい。
- × c. 一般の眼鏡用のガラスは、Nd:YAG レーザから発せられる波長 1064 nm のレーザ光を透過させてしまう。
- d. レーザ光は光ファイバを通して直接体（腔）内に導かれ、外にもれることがないため、保護用の眼鏡は必ずしも必要でない。
- e. 炭酸ガスレーザの光は水にたいへん良く吸収されたため、水で濡らしたガーゼで覆うだけで簡単に組織を保護することができる。

【問題19】 電気メスについて、正しいのはどれか。解答欄③〇にマークせよ。[4]

- a. 表面が金属の硬性鏡を通して電気メスを使用する場合、硬性鏡表面に絶縁性のゼリーは塗布しないほうがよい。
 - b. 待機状態で電気メスに接続したメス先端電極ホルダを生理食塩液に漬けて、スイッチの誤動作をあらかじめチェックすることができる。
 - c. 電気メスの導電型対極板を貼る部位は、あらかじめポビドンヨード消毒液で消毒しておいたほうがよい。
 - d. 電気メスの切開用出力電力を測定する場合、負荷抵抗として、電力許容量が適合すれば、通常の巻線抵抗を用いることができる。
 - e. 電気メスの凝固用出力電力を測定する場合、整流型の電流計を用いることができる。
- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 ③〇 = 1)

【解説】

- a. 電気メスの電流が硬性鏡に漏れた場合、絶縁性のゼリーがはがれて絶縁不良になった部位に電流が集中して熱傷事故につながる恐れがあるため、電流密度を低く保つように硬性鏡表面は絶縁しないほうが安全である。
- b. このようにして、メスホルダーのメス先端部分やスイッチ部分の防水不良による誤動作をチェックすることができる。
- × c. 乾燥絶縁皮膜が形成され、導電型対極板の有効面積が減って熱傷の危険がある。
- × d. 電気メスでは高周波が用いられているため、巻線抵抗ではインダクタンスが問題になって正しい計測ができない。
- × e. 凝固では電気メスの出力はバースト波となっているので、整流型の電流計では正しい計測ができない。

【問題20】 輸液ポンプについて、正しいのはどれか。その番号を解答欄③①にマークせよ。[4]

- a. 流量制御型では1分間あたりの輸液の滴数で輸液量がコントロールされる。
- b. フィンガポンプでは、フィンガ部に当たっている輸液セットの部分が変形するため、長期使用時はときどき上下に移動させる。
- c. ドロップセンサ装着部の滴下筒部は輸液により汚れても輸液量は設定通り維持される。
- d. 性能試験で、輸液量が設定値の±20%以内であればよい。
- e. 輸液セットはメーカー指定のものを使用する。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 ③①=7)

【解説】

- × a. 流量制御型は1時間当たりの注入量を設定することで薬液の注入速度を決める方式で、輸液の滴数で決めていない。
- b. フィンガーポンプやローラポンプでは、長期使用時にフィンガ部やローラ部に当たっている輸液セットの部分が変形し、設定した輸液量が輸液されなくなるため、適宜上下させる必要がある。
- × c. 滴数制御型ではドロップセンサ装着部の滴下筒部の汚れやセンサの位置異常で設定した輸液量が輸液されなくなることが起こるため注意する。
- × d. 性能試験では、設定値の±10%以内であることを確認する。
- e. 輸液ポンプはメーカーが指定した輸液セットを使用する。

【問題21】 吸引器について、正しいのはどれか。解答欄③②にマークせよ。[4]

- a. 回転翼形ポンプでは、ポンプ内の気密性を保つためオイルが用いられている。
- b. JIS T 7327「医療用電動式吸引器」では、吸引圧は1000 mmHg以上でなければならないと規定されている。
- c. 回転翼形ポンプでは、吸引された分泌物がポンプ内に入り込まないように、補助ピンやフィルタが装備されている。
- d. ダイアフラム形ポンプでは、吸引された分泌物がポンプに入り込んでも支障がないような構造になっている。
- e. ポンプは作動するが吸引力が弱い場合、最も多い原因としてポンプやピンとチューブの間の不完全な接続が考えられる。

- 1) a, b, c 2) a, b, d 3) a, b, e 4) a, c, d
- 5) a, c, e 6) a, d, e 7) b, c, d 8) b, c, e
- 9) b, d, e 10) c, d, e

【正解】 ③② = 5)

【解説】

- a. 回転翼形ポンプではポンプ内にオイルが入っていてポンプ内の気密性を維持すると同時にポンプを冷却している。
- × b. 吸引圧はJISで-30 cmHg以上と規定されている。
- c. 回転翼形ポンプでは吸引物がポンプ内に入り込まないように補助ピンやフィルタが備えられている。
- × d. ダイアフラム形ポンプも回転翼形ポンプと同じように吸引物が入り込まないようにして使用しなければならない。
- e. 電動式、非電動式を問わず、吸引器で吸引圧が弱い場合、一番多い原因はピンやチューブなどの不完全な接続である。

【問題22】 遠心式血液ポンプを用いた体外循環において、血液ポンプの平均吐出量は4.5l/min、平均吐出圧は200 mmHgであった。この時ポンプが血液になしている仕事率はおおよそ□□Wである。解答欄③③にマークせよ。ただし、ポンプ入口圧は0 mmHgとする。[4]

- 1) 1 2) 2 3) 3 4) 4 5) 5
6) 6 7) 7 8) 8 9) 9 10) 10

【正解】 ③③ = 2)

【解説】 血液ポンプが血液に与える仕事率（単位時間当たりの仕事量） W (W)はポンプ出入口間の血液に与える圧力差 ΔP (Pa)、血流量 Q (m^3/s)とすると

$$W = \Delta P Q$$

で与えられる。

ここで、与えられた数値の単位をSI単位に変換する必要がある、

$$1 \text{ (mmHg)} = 133 \text{ (Pa)}$$

$$1 \text{ (l/min)} = 1/60000 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

であるから

$$\begin{aligned} W &= 133 (200 - 0) \cdot (1/60000) 4.5 \\ &= 2 \text{ (W)} \end{aligned}$$

別解) 1 (mmHg) = 133 (Pa) を忘れていた場合、

水銀の密度 ρ は $13.59 \times 10^3 \text{ (kg/m}^3)$ であるので、圧力 P (Pa)は

$$P = \rho g h \quad (h: \text{水銀柱の高さ (m)})$$

で与えられ、ポンプが血液になす仕事率 W は

$$\begin{aligned} W &= \rho g \Delta h Q \quad (\Delta h: \text{水銀柱の高さの差 (m)}) \\ &= 13.59 \times 10^3 \cdot 9.8 \cdot (200 - 0) \times 10^{-3} \cdot (1/60000) 4.5 \\ &= 2 \text{ (W)} \end{aligned}$$

と計算できる。

第2回午後の部

また電気回路における電力 W (W), 電圧 V (V), 電流 I (A) の関係

$$W = V \cdot I$$

と血液ポンプの仕事率 W (動力), ポンプ出入口間の血圧差 ΔP , 血流量 Q とは相似的に対応して考えることができる。

【備考】医療で一般に用いられている数値の単位はこれまでの慣習により, SI 単位系でないものがあり, これらの単位間の関係を知っておくことは重要である。特に圧力の単位 mmHg は多用されているので, 換算式を知っておくと良い。

【問題23】 人工心肺の操作中に発生したトラブルに対する対応について、誤っているのはどれか。その番号を解答欄⑳にマークせよ。[3]

- 1) 人工心肺回路のプライミング操作中に、人工肺付近よりプライミング液の漏れが発見されたので、新しい人工肺回路と交換した。
- 2) 人工肺を使用した体外循環中に、ローラポンプが何らかの原因で停止した。原因の発見前に直ちに手動ハンドルによりポンプの回転を確保した。
- 3) 人工心肺使用中、人工肺のガス交換能が低下したので、人工肺の交換操作を行った。操作中に床に血液を少量こぼしてしまったが、操作の緊急性を重視し、そのまま継続した。
- 4) 人工肺回路のプライミング中に、回路内に気泡が発見された。緊急手術用であり、気泡の量が数mlであったので、そのまま体外循環に使用した。
- 5) 人工心肺による体外循環中、冷温水供給装置より冷水の液漏れが発見された。わずかであったので、水位の確認をしながら体外循環を継続した。

【正解】③(4)

【解説】人工心肺装置の使用中は循環の維持が最優先される。人工肺回路に問題がある場合は、回路の交換が必要である。いずれの場合も操作には十分習熟しておく必要がある。

- 1) プライミング液の漏れは回路チューブ接続部の不良や、人工肺接合部などの亀裂が考えられるが、いずれの場合も新しい人工肺回路との交換が必要である。
- 2) 人工肺使用中は、生命維持のために循環の継続が最優先される。手動ハンドルにてポンプの回転が確保できる場合は手動にて循環を継続しながら、代替りのローラポンプを準備するなどの作業を行う。送血用メインポンプの横には予備の送血ポンプを用意しておくが良い。
- 3) 人工肺を長時間連続使用すると、ガス交換能が低下する場合がある。この場合は人工肺回路の交換で対応するが、できるだけ短時間で作業を完了させ、循環を継続する必要がある。こぼれた血液の処理は循環再開後に行う。
- ×4) 数 ml の気泡混入であっても、動脈内で空気塞栓を起こす場合がある。閉塞部位によっては重大な副作用が発生する可能性があるため、気泡の除去は十分行う必要があり、緊急性よりも優先する。
- 5) 冷温水供給装置よりの水漏れは冷凍機の結露や、循環水回路の亀裂などによるものと考えられる。この場合は状態を注意深く観察しながら循環を維持する。ただし、循環水が血液漏れにより濁ってきた場合や、回路外に液漏れが発生していないのに、循環水量の減少がある場合は人工肺回路に重大な損傷があると考えられるので、回路の交換が必要となる。

【問題24】 出力抵抗 $500\ \Omega$ の電気メスがある。負荷抵抗を $500\ \Omega$ とした時に負荷に供給される電力 P_{500} は負荷抵抗を $200\ \Omega$ とした時に負荷に供給される電力 P_{200} の何倍か。また、負荷抵抗を $1000\ \Omega$ とした時に負荷に供給される電力 P_{1000} は P_{500} の何倍か。ただし、電気メスの発生電圧は変わらないものとする。解答欄 \textcircled{K} および \textcircled{L} に数値を有効数字2桁で記入せよ。[$6 \times 2 = 12$]

$$P_{200} / P_{500} = \textcircled{K} \text{ 倍}$$

$$P_{1000} / P_{500} = \textcircled{L} \text{ 倍}$$

【正解】 $\textcircled{K} = 0.82$, $\textcircled{L} = 0.89$

【解説】 電気メスを題材にとった電力供給の効率の工学的問題である。

電気メスの内部発生電圧 E および内部抵抗（出力抵抗） R を一定とすると、負荷抵抗 RL に供給される電力 PL は、負荷供給電流を $I (= E / (R + RL))$ とすると、 $PL = I^2 RL$ と表せる。

よって、

$$PL = \frac{RL}{(R + RL)^2} E^2$$

となる。

そこで、 $RL = K \cdot R$ と置いて、式を変形すると

$$PL = \frac{K}{(K + 1)^2} \cdot \frac{E^2}{R}$$

となり、この値は $RL = R$ すなわち $K = 1$ のときが最大で

$$PL(\text{MAX}) = \frac{E^2}{4R}$$

となる。

ここで、 $RL = 200\ \Omega$ のときは $K = 2/5$, $RL = 1000\ \Omega$ のときは $K = 2$ となるので、これを入れれば問題の解答が選られる。

よって

$$P_{200} / P_{500} = 40 / 49 = 0.816$$

$$P_{1000} / P_{500} = 8 / 9 = 0.889$$

となり、題意より有効数字2桁まで求めればよい。

【問題25】 次の文章の□□内に当てはまる最も適当なものを下記の解答群から選び、その番号を解答欄③⑤～③⑧にマークせよ。[4×4=16]

HDF(血液透析濾過)を実施するにあたって、血液流量 Q_b 、HDF実施時間 t_b 、総補液量 V_s 、除水目標量 V_F 等をあらかじめ決定する必要がある。また、補液を注入する部位により、前希釈法と後希釈法に分けることができ、この場合の前と後は③⑤を基準にして考える。

後希釈法でHDFを実施する場合は、ダイアライザ(ヘモフィルタ)での③⑥に注意する必要がある。そのため、ダイアライザ(ヘモフィルタ)出口のヘマトクリット値が、時間あたりの補液量と除水量の和(濾液速度と呼ぶ)の変更により、どのように変化するのかを知っておく必要がある。

今 $Q_b=200\text{ ml/min}$ 、 $t_b=4\text{ h}$ 、 $V_s=8\text{ l}$ 、 $V_F=4\text{ l}$ の条件で、後希釈法により一定濾液速度でHDFを行った。

この時、濾液速度は③⑦ l/h となる。これより、ダイアライザ(ヘモフィルタ)の入口でヘマトクリット値が30%のとき、ダイアライザ(ヘモフィルタ)の出口では③⑧%になることがわかる。

- ③⑤の解答群 1) 気泡検出器 2) 脱血圧検出器 3) サンプルバルブ
4) 血液ポンプ 5) 動脈側ドリップチャンバ
6) ダイアライザ(ヘモフィルタ) 7) 静脈側ドリップチャンバ
8) 補液ライン 9) 動脈針 10) 静脈針

- ③⑥の解答群 1) 漏血 2) 温度異常 3) 透析液濃度異常 4) 気泡混入
5) 溶血 6) 血液希釈 7) 血液濃縮 8) 血栓形成
9) UFR(限外濾過率) 10) TMP(膜間圧力差)

- ③⑦の解答群 1) 0.8 2) 1.0 3) 1.3 4) 1.5 5) 1.8
6) 2.0 7) 2.2 8) 2.5 9) 3.0 10) 3.2

- ③⑧の解答群 1) 23 2) 25 3) 27 4) 30 5) 33
6) 36 7) 38 8) 40 9) 43 10) 45

[正解] ㉔=6), ㉕=7), ㉖=9), ㉗=8)

【解説】HDFでは、血液を体外循環させる間に、血液回路において補液をすることになるが、最終的に患者へ血液を戻す時点では、この補液に相当する量及び除水量分を除いた血液を返血することになる。このような体外循環中で、補液に相当する量及び除水量分を除く働きをする部位が、ダイアライザ(ヘモフィルタ)である。即ち、ダイアライザ(ヘモフィルタ)の手前で希釈する場合には、患者からの血液が希釈された状態のものを、血液透析することになる。また、ダイアライザ(ヘモフィルタ)の後で希釈する場合には、患者から取り出した血液そのものを血液透析することになり、補液はそのまま体内に注入されることになる。この場合、ダイアライザ(ヘモフィルタ)では、補液の分も除水することになるため、ダイアライザ(ヘモフィルタ)出口では前希釈によるHDFより血液が濃縮される。一般的に前希釈法よりも後希釈法の方が効率が良いとされるが、短時間に大量補液により更に効果的な血液浄化をこころみる場合には、ダイアライザ(ヘモフィルタ)での血液濃縮の心配のない前希釈法を実施している。

㉔ 前と後は、ダイアライザ(ヘモフィルタ)を基準にしている。

㉕ 後希釈法ではダイアライザ(ヘモフィルタ)での血液濃縮に注意する必要がある。

㉖ 濾液速度は、時間あたりの補液量と除水量の和であることから、次の計算で求めることができる。

$$\cdot V_s/t_D + V_F/t_D = 8/4 + 4/4 = 3 \text{ l/h} = 50 \text{ ml/min}$$

㉗ ダイアライザ(ヘモフィルタ)出口で血球成分に変化はない。ダイアライザ(ヘモフィルタ)で透析液側に排出される濾液分は、血漿成分から除去される。即ち、ダイアライザ(ヘモフィルタ)出口のヘマトクリット値を求めるには、血球成分量とダイアライザ(ヘモフィルタ)出口の血液量から求めることができる。ここでは、1分間あたりの量からヘマトクリットを計算した場合で説明する。

・1分間の血球成分量

$$Q_B \times 1 \text{ 分} \times \text{ヘマトクリット値} = 200 \times 1 \times 0.3 = 60 \text{ ml}$$

・1分間のダイアライザ(ヘモフィルタ)出口の血液量

$$\begin{aligned} Q_B - 1 \text{ 分間あたりの濾液} &= Q_B - (\text{濾液速度} \times 1 \text{ 分}) \\ &= 200 - (50 \times 1) \\ &= 150 \text{ ml} \end{aligned}$$

・ダイアライザ(ヘモフィルタ)出口のヘマトクリット値

ダイアライザ(ヘモフィルタ)出口のヘマトクリット値

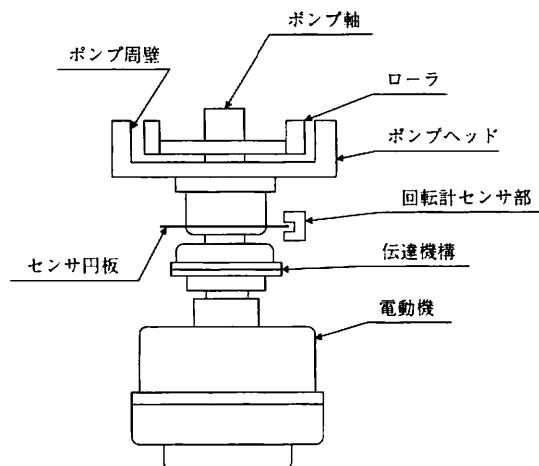
$$= (1 \text{ 分間の血球成分量}) / 1 \text{ 分間のダイアライザ(ヘモフィルタ)出口の血液量} = 60/150 = 40\%$$

第2回午後の部

【問題26】 図に示す構造のローラポンプについて、回転計センサ部よりの信号を用いて、使用されている電動機の回転数精度の評価をしたい。回転計センサ部よりの出力はポンプ軸1回転あたり500回のパルス出力である。このために用いる計測装置で適当なものは次のどれか。その番号を解答欄(39)にマークせよ。[4]

- a. デジタルストレージオシロスコープ
- b. デジタルストップウォッチ
- c. FFTアナライザ
- d. デジタルテスタ
- e. デジタルカウンタ

- 1) a, b, c 2) a, b, d 3) a, b, e 4) a, c, d
- 5) a, c, e 6) a, d, e 7) b, c, d 8) b, c, e
- 9) b, d, e 10) c, d, e



人工心肺電動式血液ポンプの各部略称 (複ローラポンプの例) : JIS T 1603-1989 解説より

第2回午後の部

【正解】㉔=5)

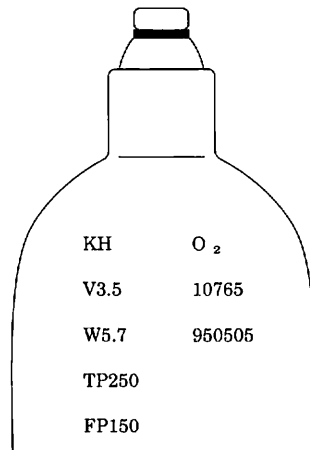
【解説】人工心肺用のローラポンプは通常数 rpm から 200 rpm 程度の回転域で使用される。このポンプの場合、200 rpm において回転計センサ部より出力されているパルスの周波数はほぼ 1.7 kHz となる。

- a. CRT 上のパルス波の間隔より回転数を求めることができる。
- × b. 周波数が高すぎて測定することができない。
- c. パルス波を FFT すると高調波のピークが楕形に表れるが、基本波のピーク周波数より回転数を求めることができる。
- × d. 電圧出力ではないので測定することはできない。パルス波のデューティが一定でない場合、平滑化して電圧値に変換することは可能であるが、電圧値と回転数の換算式を作るために別の回転計が必要となってしまう。
- e. パルス波の周波数が表示されるので、回転数を求めることができる。

【備考】a. c. e. のいずれの機器を用いても測定は可能であるが、この測定において最もコストパフォーマンスがよいものは e. の測定器である。

第2回午後の部

【問題27】 1分間5lの流量で、フェイスマスクにより酸素療法を行うことになった。準備された酸素ボンベ（図）の接続された圧力計で圧は50 kgf/cm²であった。このボンベで約何分間酸素吸入を行うことができるか。解答欄④にマークせよ。[4]



- 1) 2分 2) 3.5分 3) 10分 4) 20分 5) 35分

【正解】 ④ = 5)

【解説】 ボンベ内のガス量はそのボンベの容量（ボンベの表面にVと刻印されていて、問題では3.5lとなっている）にそのときの内圧（kgf/cm²）を乗じたもので表されるため、問題のボンベ内のガス量は、 $3.5 \times 50 = 175$ lとなる。1分間に5l流せば $175 \div 5 = 35$ 分となる。

【問題28】 厚生省健康政策局長通知で各医療施設に設けられている医療ガス安全・管理委員会について、解答欄㊸と㊹に適切な語句を記入せよ。

[5×2=10]

医療ガス安全・管理委員会を構成する職種として、医師以外に㊸があり、委員会の監督責任者は㊹が定める。

【正解】 ㊸= 歯科医師，薬剤師，看護婦，事務職員，臨床工学技士などのいずれか

㊹= 委員会

【解説】 医療ガス安全・管理委員会はその医療施設の長又はその命を受けた者、医師又は歯科医師、薬剤師、看護婦、事務職員、その他（臨床工学技士など）から構成される。委員会の規模・人数は各施設により決定する。麻酔科、ICU、CCU、手術部を担当する麻酔科医がいる場合は、原則として麻酔科医は委員会に参加するものとする。なお、委員会では総括責任者である委員長を置くが、委員長は医療施設の長又はその命を受けた者とする。委員会では監督責任者及び実施責任者を選任するが、監督責任者は医療ガスに関する知識と技術を有する者で委員会の委員の中から選任する。実施責任者は医療ガスに関する専門的知識と技術を持つ者（高圧ガス保安法による主任者等）を任ずることになっている。

第2回午後の部

【問題29】 病院の接地設備について、誤っているのはどれか。解答欄④にマークせよ。[6]

- a. 医用コンセントの接地刃受けと医用接地センタとの抵抗は直流で測定する。
- b. 接地極の接地抵抗値は $50\ \Omega$ 以下でなければならない。
- c. 医用室を等電位接地すれば、接地極の接地抵抗は $100\ \Omega$ 以下でよい。
- d. 接地分岐線は緑／黄の線が無い場合は緑の線でもよい。
- e. 接地幹線として建物の鉄骨を利用してもよい。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 ④=1)

【解説】

- × a. $6\ \text{V}$ を超えない商用交流を $10 \sim 25\ \text{A}$ 流して測定する
- × b. 接地極の接地抵抗値は原則、 $10\ \Omega$ 以下
- c. 接地抵抗が $10\ \Omega$ 以下にできない場合は、全ての医用室を等電位接地すれば、接地極の接地抵抗は $100\ \Omega$ 以下でもよい。
- d. 緑／黄の線は現状手に入りにくいので、緑の線も認めている。
- e. 鉄筋鉄骨コンクリート造の建物では、鉄筋や鉄骨を接地幹線として利用する。

【問題30】 鉄筋・鉄骨コンクリート造の病院はその地下部分を接地極に使用するが、その接地抵抗は実測が困難であるので、JIS T 1022 では $R = 3 \times 0.4 \rho / \sqrt{A}$ と計算してよいことになっている。この式の要素の意味に関して、次の解答欄 ㉓ ~ ㉖ に適切な語句を記入せよ。[5×4=20]

- a. ρ は地下周囲の土壌の ㉓ である。
- b. A は地下部分の ㉔ である。
- c. 接地抵抗は地下部分を ㉕ と仮定して導出している。
- d. 3 は理論値に対する ㉖ である。

【正解】 ㉓ = 抵抗率又は固有抵抗
 ㉔ = 述べ表面積又は有効表面積又は表面積
 ㉕ = 半球
 ㉖ = 安全係数

【解説】 病院の建物の地下部分を接地極として使用する場合、その接地抵抗を測定するのは、実際問題としては不可能に近い。そこで、地下部分を「半球」と見なして、理論的な拡がり抵抗を計算で求め、これを医用接地の接地抵抗とする。

- a. ρ は病院建物の地下の周囲の土壌の平均抵抗率(固有抵抗)である。数ヶ所(地表面での建築面積 $50 \times 50(\text{m}^2)$ につき1点を測定する)で土壌の抵抗率(大地抵抗率)を測定し、その平均値を求めて使用する。
- b. A は建物の地下部分全体の述べ表面積、有効表面積である。即ち、土壌と接しなおかつ、接地極と見なしうる部分の面積の総和である。
- c. 接地抵抗は地下部分を述べ表面積と同じ表面積を持った「半球」と仮定して導出している。半径 a の半球電極の接地抵抗(電極拡がり抵抗) R は、媒質の抵抗率を ρ とすると、 $R = \rho / (2\pi a)$ と表せる。また、この半球の表面積 A は、 $A = 2\pi a^2$ と表せるので、 $a = \sqrt{A/2\pi}$ となる。よって、半球電極の接地抵抗と電極表面積との関係は、 $R = \rho / \sqrt{2\pi A} = 0.4\rho / \sqrt{A}$ となり、問題の計算式、すなわち、 $R = 3 \times 0.4 \rho / \sqrt{A}$ の式の3以降を意味するわけである。
- d. 上で説明した、半球での接地抵抗に3を掛けた値を、建物の地下部分の接地抵抗の推定値としたのは、建物の地下を半球と仮定して計算した「理論値」の危うさ、不確かさに対する補償である。すなわち、理論値を実際の建物に应用するときの「安全係数」である。実際の値が、理論値から3倍もずれるはずがないという予想から、理論値の3倍が規格値を下回れば、本当の接地抵抗は規格値を満足するであろうという保証なのである。

——— 小論文試験問題 ———

昨年1月の阪神淡路大震災のような大きな災害に面したとき、ME機器システムおよび関連設備の製造、使用、保守・管理に携わる第1種ME技術実力検定試験合格者は、どのような対策を講じるべきであるか、あなたの考えを400字以上600字以内にまとめよ。

ただし、400字に満たない論文は不合格となる。