

理

1

図1-aのように水平なあらい床の上にある質量 m の物体(直方体)に対して、図に示すような角度 θ $\left(0 < \theta < \frac{\pi}{2}\right)$ で、時間 t (≥ 0) とともに一定の割合で増加する力 $f = at$ $(a > 0)$ を加える。力 f と時間 t の関係は図1-bのようである。力 $f = at$ を加えている間、物体は床から浮き上がったり転倒したりしないものとする。また、物体と床との間の静止摩擦係数を μ 、 θ と μ は $\cos\theta - \mu\sin\theta > 0$ を満たすものとし、重力加速度の大きさを g とする。以下の文中の空欄の(6)と(9)は語句で、(5)と(10)は選択肢の記号で、その他は数式で埋めよ。

A. 物体が静止している状態での力のつり合いを考える。物体にはたらく鉛直方向の力は、重力、力 $f = at$ の鉛直成分、床からの垂直抗力である。重力の大きさは (1)，力 $f = at$ の鉛直成分の大きさは (2) であるから、力のつり合いより、垂直抗力の大きさは m, g, a, t, θ を用いて (3) と表される。一方、物体にはたらく水平方向の力は、力 $f = at$ の水平成分と静止摩擦力である。ここで、力 $f = at$ の水平成分の大きさは (4) である。 f と静止摩擦力の大きさ F との関係を示す図は{(5) イ. 図1-c, ロ. 図1-d, ハ. 図1-e}である。

B. 物体が滑りだす直前の静止摩擦力は (6) と呼ばれており、その大きさを静止摩擦係数 μ を用いて表すと (7) である。物体が滑りだす直前には二つの力(4)と(7)がつり合っているので、その時の時刻を m, g, a, μ, θ を用いて表すと (8) となる。また、物体が滑っている時に作用する摩擦力は (9) と呼ばれる。(9)と(6)の大きさを比べると{(10) イ. (9) < (6), ロ. (9) = (6), ハ. (9) > (6)}である。

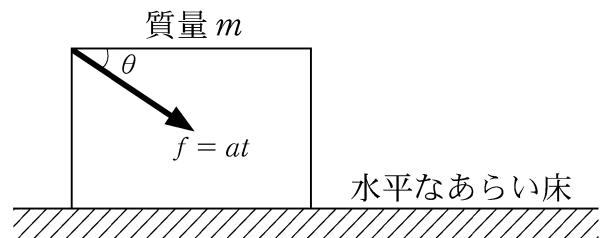


図 1-a

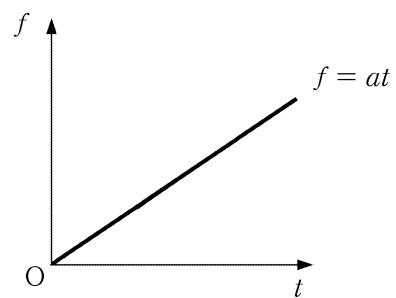


図 1-b

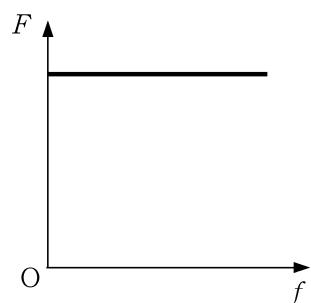


図 1-c

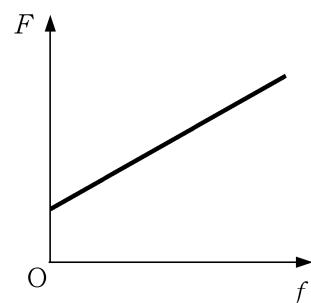


図 1-d

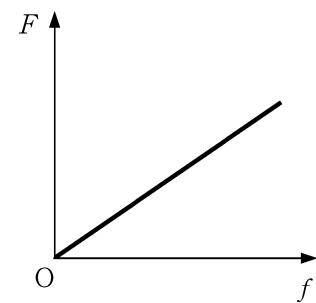


図 1-e

理

2

図2-aのように、滑らかに動くピストンでふたをされたシリンダーを、常に温度が T に保たれている外部環境の中に置く。このシリンダーは熱を通す素材でできており、中に理想気体が閉じ込められている。以下の文中の空欄を適切な数または数式で埋めよ。また、選択肢がある場合はその記号で答えよ。

A. 外部環境の温度 T は常に一定に保たれているため、充分に時間が経つとシリンダー内の気体と外部環境は熱平衡になり、気体の温度は{(1) イ. T より高くなる, ロ. T より低くなる, ハ. T と同じになる}。この状態からピストンをきわめてゆっくり引いて温度一定のまま気体のある体積まで膨張させたとき、気体が外にした仕事を $W_1(>0)$ とする。物質量が一定の理想気体の内部エネルギーは{(2) イ. 温度で決まるので、ロ. 温度には無関係なので}, この間の内部エネルギーの変化は (3) である。したがって、熱力学第1法則より、気体が吸収した熱量は (4) である。その後、いま行った操作を逆向きにきわめてゆっくり行い、気体を圧縮して元の体積に戻す。この過程で気体が外にした仕事は (5) であり、気体が吸収した熱量は (6) である。

次に図2-bのように、シリンダーとピストンが熱を通さない断熱素材でできていて、理想気体と外部環境との間で熱のやりとりがない状況を考える。シリンダーの中には理想気体が閉じ込められており、ピストンは滑らかに動くものとする。

B. ピストンをきわめてゆっくり引いて気体のある体積まで膨張させ、その際に気体が外にした仕事を $W_2(>0)$ とすると、熱力学第1法則より、気体の内部エネルギーの変化は (7) である。理想気体の内部エネルギーと温度の関係は(2)の通りなので、この操作により気体の温度は{(8) イ. 上がる、ロ. 下がる、ハ. 変わらない}。その後、いま行った操作を逆向きにきわめてゆっくり行い、気体を圧縮して元の体積に戻すと、気体の温度は膨張させる前の温度と比べて{(9) イ. 上がっている、ロ. 下がっている、ハ. 変わらない}。このような変化を{(10) イ. 可逆、ロ. 不可逆}変化という。

温度 T の外部環境

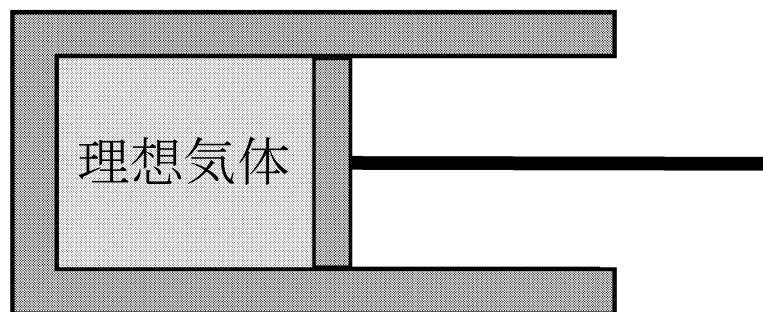


図 2-a

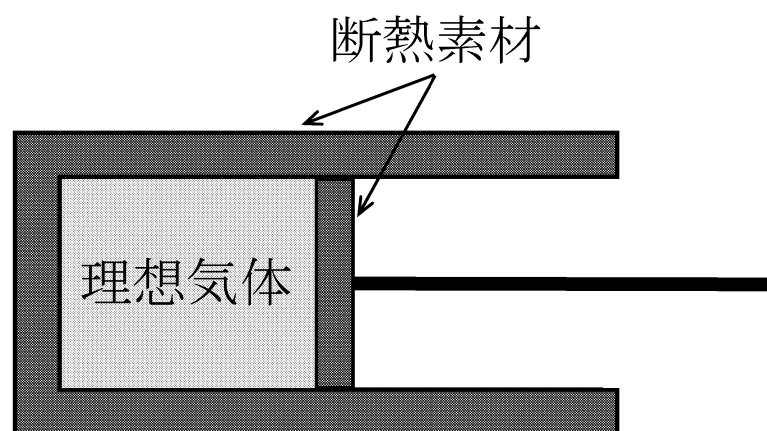


図 2-b

理

3

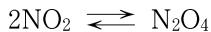
次の各設間に答えよ。

1. 次の記述を読み、〔①〕～〔⑤〕の空欄に、適する語句、物質名、名称を答えよ。

周期表の17族に属する元素をハロゲンという。ハロゲンの単体はいずれも電子を奪う力が大きく、酸化力がある。ハロゲンの単体の酸化力は、原子番号が〔①〕(語句)なるにつれて弱くなる。フッ素は、水と激しく反応し、フッ化水素と〔②〕(物質名)を発生する。塩素は水に溶け、その一部が水と反応して、塩化水素と〔③〕(物質名)を生じる。

ハロゲン化水素(フッ化水素、塩化水素、臭化水素、ヨウ化水素)の水溶液のうち、〔④〕(物質名)の水溶液だけが弱い酸性を示し、他の水溶液は強い酸性を示す。〔④〕の水溶液を〔⑤〕(水溶液の名称)という。

2. 二酸化窒素 NO_2 は赤褐色の気体であるが、この2分子が結合した四酸化二窒素 N_2O_4 は無色の気体である。ある一定の温度・圧力のもとで、 NO_2 と N_2O_4 は次式のような平衡状態にある。



容積可変の容器に NO_2 を 1.0 mol 入れ、 373 K で圧力を $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ に保ったところ、 N_2O_4 が 0.060 mol 生成して平衡状態に達した。これに関し、次の(1)～(5)の各設間に答えよ。ただし、気体定数は $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$ 、気体はすべて理想気体とする。なお、計算結果はいずれも有効数字2桁で答えよ。

(1) この反応の平衡状態における二酸化窒素の物質量 (mol) を答えよ。

(2) この反応の平衡状態における混合気体の全物質量 (mol) を答えよ。

(3) この反応の平衡状態における二酸化窒素の分圧 (Pa) を答えよ。

(4) この反応の平衡状態における四酸化二窒素の分圧 (Pa) を答えよ。

(5) この反応の平衡状態における容器の容積 (L) を答えよ。

3. 次の(1)～(5)の反応によって、それぞれ生成する有機化合物を構造式で答えよ。

- (1) エチレンに、リン酸を触媒として、高温・高圧下(300 °C, 7 MPa)で水蒸気を反応させる。
- (2) エチレンを臭素水に通す。
- (3) エチレンに白金を触媒として水素を反応させる。
- (4) 酢酸に十酸化四リンなどの脱水剤を加えて加熱する。
- (5) 酢酸とエタノールの混合物に少量の濃硫酸を加えて加熱する。

理

4

次の各設間に答えよ。

1. 次の(1)～(5)の各設間に記号で答えよ。ただし、原子量は H = 1.0, C = 12, O = 16, 標準状態における気体のモル体積は 22.4 L/mol とする。

(1) 次の a～e の原子のうち、陽子の数と中性子の数が同じものを記号で答えよ。

- a. ^1H b. ^3H c. ^{13}C d. ^{16}O e. ^{35}Cl

(2) 次の a～e の分子のうち、非共有電子対がもっとも多いものを記号で答えよ。

- a. N_2 b. NH_3 c. CO_2 d. CH_4 e. H_2O

(3) 次の a～e の物質のうち、下線部の原子の酸化数がもっとも大きいものを記号で答えよ。

- a. KMnO_4 b. H_2O_2 c. KClO_3 d. K_2CrO_4 e. FeSO_4

(4) 次の a～e の水溶液のうち、同圧のもとでもっとも沸点が高い水溶液を記号で答えよ。ただし、塩化ナトリウム、塩化カルシウム、硝酸カリウムの水溶液中の電離度は 1 とする。

- a. 0.05 mol/kg の塩化ナトリウム水溶液
b. 0.05 mol/kg のグルコース水溶液
c. 0.10 mol/kg のグルコース水溶液
d. 0.05 mol/kg の塩化カルシウム水溶液
e. 0.05 mol/kg の硝酸カリウム水溶液

(5) 次の a～e の物質のうち、標準状態における物質量 (mol) がもっとも多いものを記号で答えよ。

- a. メタン 20 L b. エタン 20 L c. エチレン 10 L d. ホルムアルデヒド 30 g
e. 二酸化炭素 40 g

2. 塩化カリウムの溶解度は20 °Cで34.2 g/100 g水, 80 °Cで51.3 g/100 g水であり, 硫酸銅(II)の溶解度は20 °Cで20.2 g/100 g水, 80 °Cで56.0 g/100 g水である。これに関し, 次の(1)~(5)の各設間に答えよ。ただし, 原子量は H = 1.0, O = 16, Cl = 35.5, K = 39, S = 32, Cu = 64とする。なお, 計算結果はいずれも有効数字3桁で答えよ。

- (1) 20 °Cの塩化カリウムの飽和水溶液の質量パーセント濃度 (%) を答えよ。
- (2) 80 °Cの塩化カリウムの飽和水溶液200 gに溶けている塩化カリウムの質量 (g) を答えよ。
- (3) 80 °Cの塩化カリウムの飽和水溶液200 gを20 °Cまで冷却したときに析出する結晶の質量(g) を答えよ。
- (4) 80 °Cの硫酸銅(II)の飽和水溶液200 gをつくるために必要な硫酸銅(II)五水和物の質量 (g) を答えよ。
- (5) 硫酸銅(II)五水和物の結晶を150 °C以上で加熱すると, 何色から何色に変化するか答えよ。

3. 次の記述を読み, 次の(1)および(2)の各設間に答えよ。

単体のアルミニウムは酸・強塩基いずれの水溶液にも水素を発生して溶ける。このように, 酸の水溶液とも強塩基の水溶液とも反応して, それぞれ塩をつくるような金属を [①] 金属という。単体のアルミニウムは, 濃硝酸に溶けない。これは, アルミニウムの表面に緻密な酸化被膜を生じ, 内部が保護されるからである。このような状態を [②] という。アルミニウムと少量の銅, マグネシウムなどとの合金を [③] という。[③] は軽量で機械的にも強いので, 航空機の機体などに利用される。

酸化アルミニウムは [④] とも呼ばれ, 白色の粉末で水に溶けない。酸化アルミニウムは [①] 酸化物であり, 酸や強塩基の水溶液にも反応して溶ける。

- (1) [①] ~ [④] の空欄に適する語句を答えよ。
- (2) アルミニウムと塩酸との反応を化学反応式で答えよ。

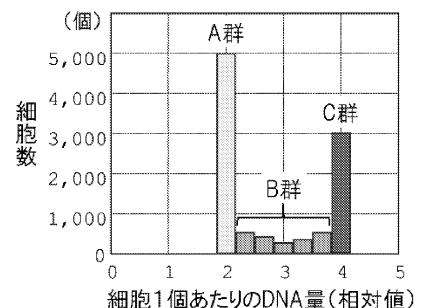
理

5

動物の体細胞分裂について述べた次の文章を読み、下記の設問（問1～問5）に答えよ。

動物細胞の核内のDNA分子は、（ア）というタンパク質に巻きついてビーズ状の基本構造である（イ）¹を形成し、これが折りたたまれて（ウ）纖維という高次構造をとっている。細胞が分裂する際には、さらに規則的に集合して太い棒状の染色体となる。²この時期をM期(分裂期)といい、さらにM期は前期・中期・後期・終期に分けることができる。分裂が終了してから次の分裂が始まるまでの時期を（エ）といい、この時期はG₁期・S期・G₂期の3つの時期に分けられる。細胞の示すこのような周期性のことを細胞周期という。多くの体細胞は、G₁期に通常の細胞周期から外れて、固有の形態と働きをもつよう分化している。このような細胞は、（オ）期にあるといわれる。染色体のDNAはS期に複製され倍加するが、その際、まずDNAヘリカーゼと呼ばれる酵素によって特定部分の塩基間の（カ）結合が切断されて開裂し、部分的に1本ずつのヌクレオチド鎖になる。³次に、ほどけた1本鎖のそれぞれを鋳型として、（キ）と呼ばれる酵素が相補的な塩基対をもつヌクレオチドを重合することにより、もとと同じ2本鎖DNAが2本形成される。

右図は、盛んに体細胞分裂を繰り返している動物の培養細胞から⁵10,000個を採取して、細胞1個あたりのDNA量を測定し、その細胞数を計測した結果である。DNA量（相対値）が2の細胞をA群、4の細胞をC群、その間のDNA量の細胞をB群とする。実験条件下におけるこの動物細胞の細胞周期の時間は、20時間であった。



問1 文章中の空欄（ア）～（キ）に最も適切な語句を記入せよ。

問2 下線部1について、以下の間に答えよ。

(1) 動物細胞では、核内のDNAとは異なる独自のDNAをもつ細胞小器官が存在する。その名称を答えよ。

(2) 上記(1)に該当する細胞小器官の構造と機能に関係する最も適切な語句を、次の①～⑩のうちから2つ選び、番号で答えよ。

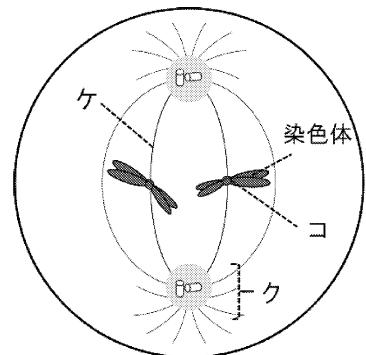
- ① チラコイド
- ② セルロース
- ③ リソソーム
- ④ クリスト
- ⑤ 中心小体
- ⑥ 繊毛の形成
- ⑦ 光合成
- ⑧ 微小管の形成中心
- ⑨ 呼吸
- ⑩ 細胞質の保護

問3 下線部2について、以下の間に答えよ。右図は、この時期の細胞の構造を模式的に示したものである。

- (1) 次の文章の空欄（ ク ）～（ コ ）には、それぞれ図のク～コに対応する構造の名称が入る。最も適切な語句を答えよ。

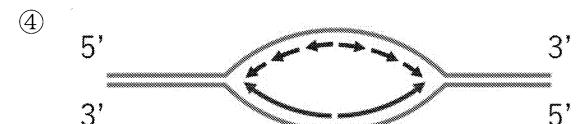
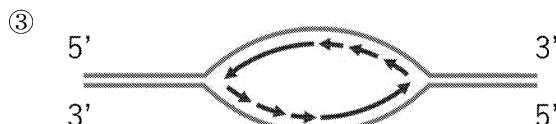
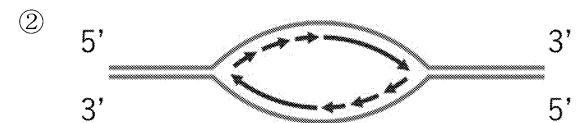
動物細胞では、M期の前期に、複製された（ ク ）が2つに分かれて細胞の両極に移動し、その周辺から（ ケ ）と呼ばれる微小管が伸長し、染色体にある（ コ ）といわれる部分と結びつく。中期では、それぞれの染色体の（ コ ）に両極からの（ ケ ）が結合し、S期で複製され倍加した染色体が赤道面に並ぶ。

- (2) 核膜が消失し、再形成されるのは、それぞれM期のどの時期か、答えよ。
 (3) M期の後期で、倍加した染色体に起こる変化を40文字以内で説明せよ。



問4 下線部3および4について、以下の間に答えよ。

- (1) 下線部3の開裂が起こる領域を何と呼ぶか。
 (2) 下線部4で起こるDNA合成のパターンを適切に図示しているのは、以下の①～④のどれか、番号で答えよ。下図では、連続した新たなDNA合成は1本の矢印で示されており、合成は矢印の方向に進むものとする。



- (3) 上記(2)の正解の図の中で、短い矢印で示されたDNA断片は、日本人の発見者にちなんで命名されている。そのDNA断片の名称を答えよ。

理

問5 下線部5の実験について、以下の間に答えよ。

- (1) 実験で採取する細胞を十分量準備するために、実験に先だって培養細胞をフラスコ内で増殖させた。培養を開始した時点での細胞数は300で、細胞周期が1回経過ごとに細胞数は2倍に増えるものとする。培養を開始してから5日後に、細胞数はおよそどのくらいまで増えると予想されるか、次の①～⑥の中から最も近い細胞数を示したものを見いだす。番号で答えよ。栄養は十分与えられ、細胞は飽和や接触阻止が起こらずに増殖し続けるものと仮定する。
- ① 2千個 ② 6千個 ③ 2万個 ④ 6万個 ⑤ 20万個 ⑥ 60万個
- (2) 図のA群～C群に属する細胞は、それぞれ細胞周期においてどの時期に相当するか。次の①～⑧のうちから最も適切なものを選び、番号で答えよ。
- ① G₁期 ② S期 ③ G₂期 ④ M期
⑤ G₁期とS期 ⑥ S期とG₂期 ⑦ G₂期とM期 ⑧ M期とG₁期
- (3) 採取した10,000個の細胞のうち、M期の細胞数は500個であった。この実験におけるG₁期、S期、G₂期、M期に要する時間を、それぞれ求めよ。

6

動物における刺激の受容と反応について述べた文章を読み、下記の設問（問1～問5）に答えよ。

動物は、光や音などの刺激を眼、耳などの（ア）で受け取る。そこで受け取られた刺激は、電気信号¹に変換されて神経系に伝えられ、脳や脊髄などの中枢神経系で処理される。その結果、筋肉などを動かすことによって、動物個体の反応や行動が起こる。例えば、ヒトは指先などが熱いものに触れたとき、思わず手²を引っ込める。この反応は無条件反射の1つで、（イ）反射とよばれる。

このような骨格筋の収縮をうながす指令は、運動ニューロンを通じて筋繊維に伝えられる。運動ニューロンの軸索は途中で枝分かれして、複数の筋繊維とシナプスを形成する。運動ニューロンからの興奮は、筋繊維の細胞膜全体に伝わる。この興奮は、筋原纖維を包んでいる筋小胞体に伝わる。すると、筋小胞体の膜上に存在するチャネルが開いて筋小胞体から（ウ）が放出され、最終的にATPをエネルギー源とした筋収縮が起こる。ATPは呼吸や解糖によって作られるが、頻繁に筋収縮すると不足しがちになる。その場合には、筋肉に含まれる（エ）の分解を利用して、ADPからATPが合成される。筋繊維には、多数の細長い筋原纖維が存在する。骨格筋の筋原纖維を顕微鏡で観察すると、明るく見える明帯と暗く見える暗帯³とが交互に配列している。筋原纖維はミオシンフィラメントと（オ）フィラメントから成る。明帯の中央にはZ膜と呼ばれる仕切りがある。

問1 文章中の空欄（ア）～（オ）に最も適切な語句を記入せよ。

問2 下線部1の神経での興奮の伝導と伝達に関する記述について、その内容が適切なものを次の①～⑤のうちから2つ選び、番号で答えよ。

- ① 神経の軸索の末端は、他のニューロンなどと20～50 nmの隙間をおいて接続している。この部分での神経伝達物質には、アセチルコリンやノルアドレナリンなどがある。
- ② 髓鞘で囲まれている軸索では、髓鞘が絶縁体として働くため、活動電流が減衰しにくい。結果として、興奮の伝導は、速くなる。
- ③ ニューロンは、加えられる刺激の強さがある一定値（閾値）以上でないと活動電位が生じない。それ以上刺激を強くした場合、刺激の強さに比例して活動電位の振幅も大きくなる。
- ④ 感覚神経には多くのニューロンが含まれている。ニューロンは加えられる刺激の強さが閾値以上でないと興奮せず、その閾値は感覚神経内であればどのニューロンでも同じ値である。
- ⑤ イカやミミズなどは、太い神経軸索を持っている。太い神経軸索は、細い神経軸索と比較して内部の電気抵抗が大きいため、興奮の伝導の速さは小さくなる。

理

問3 下線部1について、カエルからとり出したニューロンの電位差の変化に関する以下の実験を行った。シナプス結合を形成している2つのニューロンに図1のように電極を配置して、地点Sで刺激を加え、電圧計を用いて、図中の地点AとBにおける電位差の経時的变化を計測した。電位差は、軸索表面の白丸(○)の箇所を基準としたときの細胞内部の黒丸(●)の箇所での電位を表すものとする。また髓鞘の影響はないものとする。地点AおよびBにおける電位差の経時的变化を表したグラフとして最も適当なものを、グラフ選択肢①～⑨のうちからそれぞれ1つずつ選び、番号で答えよ。

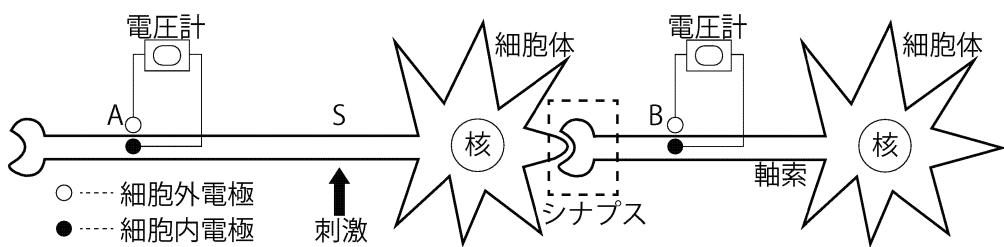
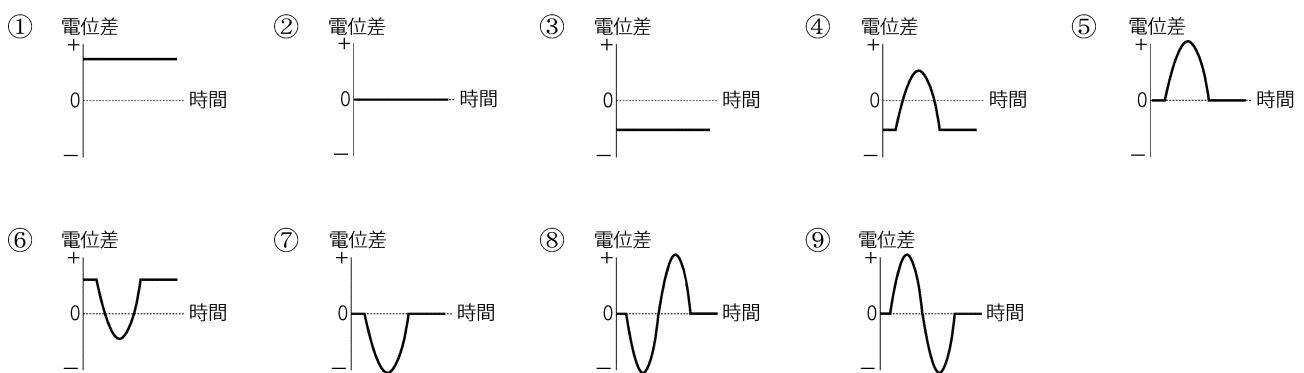


図1

グラフ選択肢



問4 下線部2の動作は個体の意識に基づく動作と比較して速い。その理由を「大脳」、「シナプスの数」を使って50字以内で説明せよ。

問5 下線部3に関して、貝の貝柱から筋繊維を取り出し、グリセリン溶液で処理した。その筋原繊維を顕微鏡で観察すると、図2のように見えた。筋織維をATP溶液に浸すと、その筋原繊維は収縮して、ATP溶液に浸す前の長さの4/5になった。ATP溶液に浸す前の暗帯の長さをa、明帯の長さをbとしたとき、ATP溶液に浸した後での明帯の長さをa、bを用いて表せ。

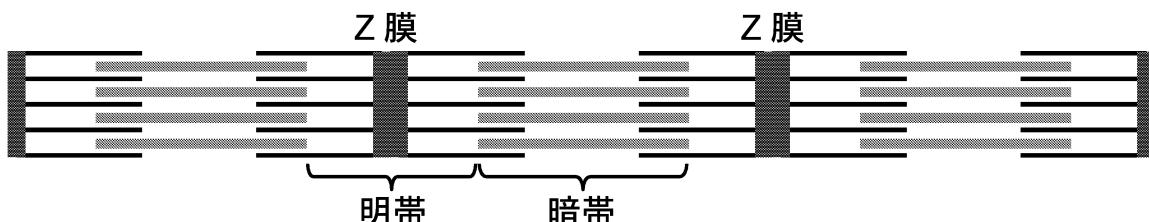


図2
- 14 -