令和６(2024)年度入学者選抜個別(第２次)学力検査問題

理　　科

注　意　事　項

1. 監督者の指示があるまで，この冊子を開いてはいけません。
2. この冊子は，全部で32ページあり，第１～３ページは下書用紙です。下書用紙は切り離してはいけません。
3. 解答用紙は，問題冊子と別に印刷されているので，誤らないように注意しなさい。
4. 解答は，必ず解答用紙の指定された欄内に記入しなさい。点線より右側には何も記入しないこと。
5. **入学志願票に選択を記載した２科目について解答しなさい**。選択していない科目について解答しても無効です。
6. 各解答用紙には，受験番号欄が２か所ずつあります。それぞれ記入を忘れないこと。
7. 解答用紙は，記入の有無にかかわらず，机上に置き，持ち帰ってはいけません。この冊子は持ち帰りなさい。
8. 落丁または印刷の不鮮明な箇所があれば申し出なさい。

下　書　用　紙　（切り取ってはいけない）

下　書　用　紙　（切り取ってはいけない）

下　書　用　紙　（切り取ってはいけない）

物　　理

（注）　医学科の受験生は(1)から(14)までの全ての問題を，歯学科および保健衛生学科（検査技術学専攻）の受験生は(1)から(11)までを解答せよ。

1　質量 m の物体２つとばね定数 k のばね３つを用いて，滑らかな水平面上に連結したばね振り子をつくった(図１)。両物体に力を加えないとき，それらはばねの自然長の位置(図１中の点 O_1，O_2)に静止している。両物体はばねの伸縮方向にのみ動き，両端の壁は動かない。物体 j (＝１，2)の点 O_j からの変位を，右方向を正にとり x_j で表す。また物体 j の速度を v_j，加速度を a_j で表す。ばねの質量や空気抵抗の影響は無視できる。解答は問題文末尾にある［　］内の記号のうち必要なものを用いて表現すること。

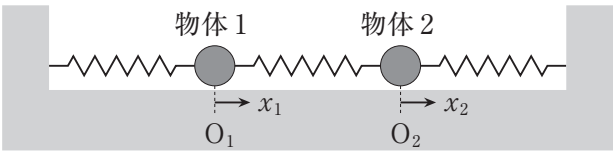


図１

両物体に手で外力を加えて $x_1 = d\,(> 0)$，$x_2 = 0$ の位置に静止させた。物体２を動かないように固定したまま，物体１のみからそっと手を離すと物体１は単振動を始めた。

(1)　物体１に対する運動方程式を記せ。［m，k，x_1，v_1，a_1］

(2)　単振動の周期 T を求めよ。［m，k，d］

両物体を $x_1 = x_2 = 0$ の位置に戻して静止させ，手を離した。その後，物体２のみに手で外力を加えて $x_2 = d$ となる位置に静止させた。このとき物体１も移動したのち静止した。

(3) 物体1の位置 x_1 を求めよ。[m, k, d]

(4) 物体2に加えている外力を求めよ。右向きを正とする。[m, k, d]

(5) 3つのばねに蓄えられている弾性力による位置エネルギーの和を求めよ。[m, k, d]

前問の状態において物体2からそっと手を離すと，両物体は運動を始めた。手を離した時刻を $t = 0$ とする。

(6) 両物体に対する運動方程式を記せ。数式には括弧を用いずに表すこと。[m, k, x_1, x_2, v_1, v_2, a_1, a_2]

両物体の運動を調べるために，変数変換 $y_1 = x_1 + x_2$, $y_2 = x_1 - x_2$ を行う。また $y_j\,(j = 1, 2)$ に対応する速度を u_j，加速度を b_j で表す。

(7) u_1 および b_2 を，元の変数を用いて表せ。[x_1, x_2, v_1, v_2, a_1, a_2]

(8) (6)で求めた2つの運動方程式を，新しい変数を用いて書き直せ。[m, k, y_1, y_2, u_1, u_2, b_1, b_2]

(9) 時刻 $t = 0$ での y_1 および u_2 の値，すなわち $y_1(0)$, $u_2(0)$ の値を記せ。[m, k, d]

(10) $y_1(t)$, $y_2(t)$ を求めよ。[m, k, d, t]

また，それらの概形を解答用紙のグラフに示せ。$y_1(t)$ は実線，$y_2(t)$ は点線で示すこと。ただし $t \geqq 0$ であり，グラフの横軸にある T は(2)で求めた量である。

(11) $x_2(t)$ を求めよ。[m, k, d, t]

質量 m の物体３つとばね定数 k のばね４つを用いて滑らかな水平面上に連結したばね振り子をつくった(図２)。全物体に力を加えないとき，それらはばねの自然長の位置(図２中の点 O_1，O_2，O_3)に静止している。物体 j(＝１，２，3)の点 O_j からの変位を，右方向を正にとり x_j で表す。また物体 j の速度を v_j，加速度を a_j で表す。

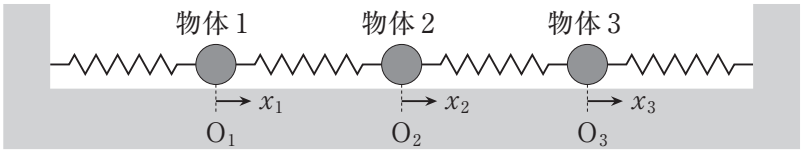


図２

全物体が静止している状況から，物体２のみに手で外力を加えて $x_2 = d$ となる位置に静止させた。このとき物体１，３も移動したのち静止した。その後，時刻 $t = 0$ に物体２からそっと手を離すと，３つの物体は運動を始めた。

⑿　３つの物体に対する運動方程式を記せ。数式には括弧を用いずに表すこと。[m，k，x_1，x_2，x_3，v_1，v_2，v_3，a_1，a_2，a_3]

３つの物体の運動を調べるために，変数変換 $y_1 = x_1 + \sqrt{2}\,x_2 + x_3$，$y_2 = x_1 - x_3$，$y_3 = x_1 - \sqrt{2}\,x_2 + x_3$ を行う。また y_j (j = １，２，3) に対応する速度を u_j，加速度を b_j で表す。

⒀　⑿で求めた３つの運動方程式を，新しい変数を用いて書き直せ。[m，k，y_1，y_2，y_3，u_1，u_2，u_3，b_1，b_2，b_3]

⒁　$y_2(t)$，$x_2(t)$ を求めよ。[m，k，d，t]

（注）　医学科の受験生は⑴から⑾までの全ての問題を，歯学科および保健衛生学科（検査技術学専攻）の受験生は⑴から⑼までを解答せよ。

2　電子（質量 m，電気量 $-e$）は波動性を示し，電子線を結晶に入射させると回折がおこる。図１のように，電子銃は，静止している電子を電位 $-V$（$V>0$）の電極Ｏから電位０の電極Ｐへ加速し，真空中に射出する。この電子線は，結晶に格子面１と角度 θ をなす向きから入射する。

最初に，図１のように，結晶の内部電位が一様に０で真空中の電位と等しい場合を考える。このとき，結晶中に入射した電子線は結晶表面（格子面１）で屈折せず直進する。結晶内に規則的に並ぶ原子によって電子線が回折し，格子面１，２から反射した電子線が干渉した。なお電子は，進む間にエネルギーを失ったり，電子線から失われることはないとする。格子面は平行であり，格子面間隔は d である。プランク定数を h とし，電気素量を e（>0）とする。また，角度 θ の単位はラジアンとし，電子に働く重力は無視できるとする。解答は，問題文末尾にある［　］内の記号のうち必要なものを用いて表現すること。

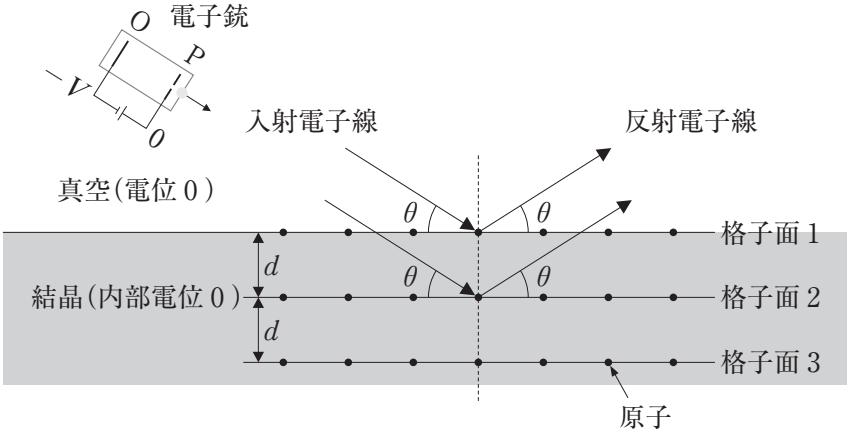


図１

(1) 結晶に入射直前の電子の速さ v_1 と，電子線の波長 λ_1 を求めよ。[e, h, m, V]

(2) 格子面1，2で反射した電子線が強め合う条件を求めよ。N を任意の正の整数とする。[d, N, θ, λ_1]

次に，電子銃の加速電圧 V を一定に保ち，電子線の結晶への入射角度 θ を $0 < \theta < \pi/2$ の範囲で0から少しずつ大きくした。

(3) 格子面1，2で反射した電子線が強め合う角度 θ が1つ以上存在する場合，入射電子線の波長 λ_1 に必要な条件を示せ。[d, λ_1]

(4) $\theta = \theta_A$ のとき，格子面1，2で反射した電子線が最初に強め合った。格子面間隔 d を求めよ。[V, θ_A, λ_1]

(5) 格子面間隔 $d = 4.4 \times 10^{-10}$ m の結晶に電子線を入射すると，反射電子線が $\theta_A = \pi/6$ で最初に強め合った。電子銃の加速電圧 V を V(ボルト)単位で有効数字2桁まで計算せよ。また，電子線の代わりにX線を同じ結晶に入射しても問題(4)と同様の回折条件が成り立ち，反射X線が $\theta_A = \pi/6$ で最初に強め合った。入射X線の光子のエネルギーをeV単位で有効数字2桁まで計算せよ。$m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg，$h = 6.6 \times 10^{-34}$ J·s，$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C，光速を 3.0×10^{8} m/s とする。

(6) 結晶の温度を下げると結晶が熱収縮し，格子面間隔 d が $d - \Delta d$ ($\Delta d > 0$)に減少した。このとき，最初に反射電子線が強め合う角度は，θ_A から $\theta_A + \Delta\theta_A$ ($\Delta\theta_A > 0$)に増加した。格子面間隔の相対変化 $\Delta d/d$ を求めよ。なお，Δd は d に比べて十分小さく，また $\Delta\theta_A$ も微小なため，この問題では，$\cos\Delta\theta_A \fallingdotseq 1$，$\sin\Delta\theta_A \fallingdotseq \Delta\theta_A$ と近似し，さらに微小量の2次以上の項は無視せよ。[θ_A, $\Delta\theta_A$]

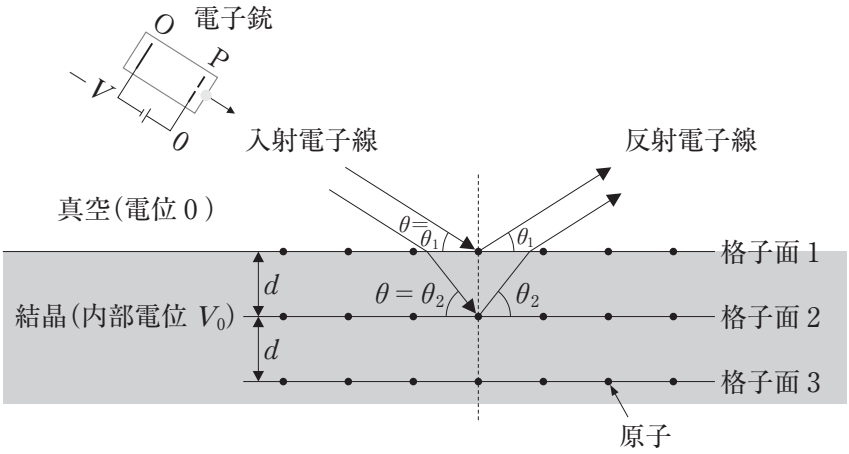


図 2

結晶の温度を上昇させ，格子面間隔を d に戻した。以下の問題(7)–(11)では，真空中の電位は 0 であり，結晶の内部電位が真空中と比較して $V_0(>0)$ だけ一様に高い場合を考える。ただし，電位の変化は格子面 1 近傍の厚さが無視できる範囲内でのみ起こっているとする。このとき，結晶内へ入射した電子線は結晶表面(格子面 1)で屈折する。図 2 のように，静止している電子を電子銃により電位 $-V$ の電極 O から電位 0 の電極 P へ加速し，真空中より電子線を結晶の格子面 1 に入射させた。入射角 θ を 0 から少しずつ大きくすると，$\theta=\theta_1$ のとき，格子面 1，2 からの反射電子線が強め合った。このとき，入射電子線は格子面 1 で屈折後，格子面 2 に角度 $\theta_2(>\theta_1)$ をなす向きで入射した。以下の問題に答えよ。

(7) 結晶入射前の電子線の波長 λ_1 と結晶中の電子線の波長 λ_2 の比 λ_2/λ_1 を

(i) V と V_0 を使って表せ。[V, V_0]

(ii) θ_1 と θ_2 を使って表せ。[θ_1, θ_2]

(8) 反射電子線が最初に強め合う条件を示せ。[d, λ_2, θ_2]

(9) V_0 を d, e, h, m, V, θ_1 を使って表せ。この問題の解答に使用できる三角関数は sin 関数のみとする。[d, e, h, m, V, θ_1]

⑽　V_0 が V に比べて微小な場合，$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ も微小となる。$\Delta\theta$ を V_0 に比例する近似式として表せ。ここでは，$\cos\Delta\theta \fallingdotseq 1$，$\sin\Delta\theta \fallingdotseq \Delta\theta$，$|x|$ が 1 よりも十分小さい場合に成立する近似式 $(1+x)^{\alpha} \fallingdotseq 1 + \alpha x$ を用いよ。［V，V_0，θ_1］

同様の実験を電子の代わりに陽電子（質量 m，電気量 $+e$）を用いて行う。この時，電子銃の電極 O の電位を V に変更し，静止した陽電子を電極 O から P へ加速電圧 V で加速し，陽電子線を結晶へ入射させた。V は V_0 より大きいとする。なお陽電子は，進む間にエネルギーを失ったり，陽電子線から失われることはないとする。

⑾　陽電子線の入射角度 $0 < \theta < \pi/2$ の範囲で反射強度を測ると，電子線の場合に観測された反射強度の変動が見られず一定となる角度範囲があった。なお，陽電子線の強度とは，進行方向に垂直な断面を単位時間あたりに通過する陽電子の個数とする。

(i)　反射強度の変動が見られない物理的理由を説明せよ。

(ii)　反射強度が一定となる角度範囲内であるとき，入射強度に対する反射強度の比（反射強度／入射強度）を答えよ。

(iii)　反射強度が一定となる角度範囲を，以下のように $\sin\theta$ の範囲を表す不等式として示せ。空欄(1)には不等号を入れなさい。［V，V_0］

$\sin\theta$ [(1)] [(2)]

化　　学

必要のある場合には次の数値を用いよ。

原子量：H = 1.0　C = 12.0　N = 14.0　O = 16.0　Na = 23.0

Mg = 24.3　Si = 28.1　S = 32.1　Cl = 35.5　K = 39.1

Ca = 40.1　Ti = 47.9　Fe = 55.9　Br = 79.9　I = 126.9

気体定数：$R = 8.31 \times 10^3 \dfrac{\mathrm{Pa \cdot L}}{\mathrm{K \cdot mol}}$

アボガドロ定数：6.02×10^{23} /mol

ファラデー定数：$F = 9.65 \times 10^4$ C/mol

対数：$\log_{10} 2 = 0.30$　$\log_{10} 3 = 0.48$　$\log_{10} 7 = 0.85$

$\log_e 10 = 2.30$（e = 2.718）

数値を計算して答える場合は，結果のみではなく途中の計算式も書き，計算式には必ず簡単な説明文または式と式をつなぐ文をつけよ。

1　次の文を読み，以下の問に答えよ。

病院をはじめとする医療機関では，産業用ガスの他に，医薬品として医療用ガスが用いられる。ガスボンベ中の気体は，高圧下にあるため，産業用，医療用に関係なく理想気体の状態方程式 $PV = nRT$ の式には従わない。ここで，P は圧力(Pa)，V は体積(L)，n は物質量(mol)，R は気体定数，T は温度(K)である。実在気体を取り扱う際に，理想気体からのずれを示す指標として

$$Z = \frac{PV}{nRT} \qquad ①$$

が用いられる。この Z を圧縮率因子という。300 K における窒素，メタン，ヘリウムの圧縮率因子と圧力との関係は，図1－1に示すように，それぞれの気体でそのふるまいが異なることがわかる。図1－2にはいくつかの温度条件でのメタンの圧縮率因子が圧力によって変化する様子を示す。

実在気体を取り扱う方法の1つとして，次のファンデルワールスの状態式が知

られている。実在気体では，［ A ］があること，分子自身の［ B ］があることを考慮して，

$$\left\{P + a\left(\frac{n}{V}\right)^2\right\}(V - nb) = nRT \qquad ②$$

で表される。ここで，a，b をファンデルワールス定数といい，その値は気体ごとに異なる。式②を変形すると，

$$P = \frac{nRT}{V - nb} - a\left(\frac{n}{V}\right)^2 \qquad ③$$

となるので，式③の P を式①に代入すると，

$$Z = \frac{V}{V - nb} - \frac{an}{VRT} \qquad ④$$

が得られる。

医療用ガスのファンデルワールス定数を表1－1に示す。酸素と窒素は混合し，人工空気(合成空気)として使用される。二酸化炭素は手術室にて内視鏡手術に使われる。一酸化窒素は血管拡張物質として，亜酸化窒素は麻酔剤として用いられる。また，キセノンはエックス線CTスキャナーの造影剤として使用される。

表1－1　医療用ガスのファンデルワールス定数

医療用ガス	$a\left(\frac{\mathrm{L^2 \cdot Pa}}{\mathrm{mol^2}}\right)$	b(L/mol)
酸素	1.4×10^5	0.032
窒素	1.4×10^5	0.039
二酸化炭素	3.7×10^5	0.043
一酸化窒素	1.5×10^5	0.029
亜酸化窒素	3.8×10^5	0.044
キセノン	4.2×10^5	0.052

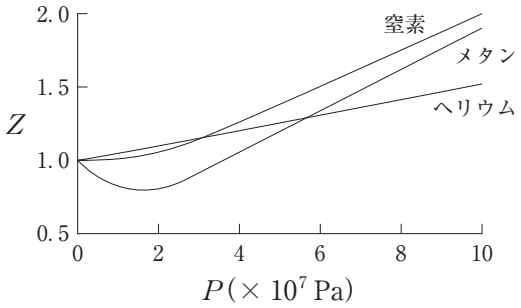


図1－1　圧縮率因子 Z と圧力 P との関係

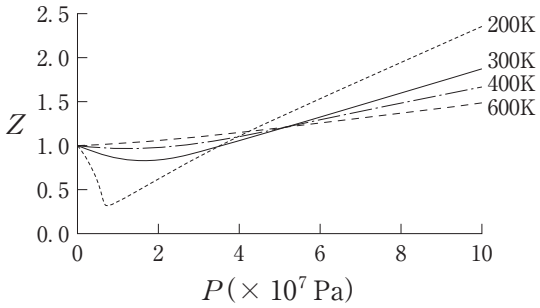


図1－2　メタンの圧縮率因子の圧力による変化

問 1　以下の問に答えよ。

(1)　空欄A，Bに適切な語句を埋めよ。ただし，Bは漢字2字で答えよ。

(2)　気体を理想気体として扱えるとき，Z，a，b の値をそれぞれ答えよ。

(3)　式④において n が大きくなると，Z の値はどのようになるか説明せよ。

問 2　1 mol の気体の体積を V_m とする。式④の Z を体積 V の代わりに V_m で表せ。

問 3　メタンのファンデルワールス定数は，$a = 2.30 \times 10^5 \dfrac{\mathrm{L^2 \cdot Pa}}{\mathrm{mol^2}}$，$b = 0.0431$ L/mol である。1.00 L のボンベにメタンが 4.00 mol 封入されているとき，ファンデルワールスの状態式に従うものとして，300 K における圧力と圧縮率因子をそれぞれ有効数字3桁で求めよ。

問 4　窒素酸化物について以下の問に答えよ。

(1)　一酸化窒素，亜酸化窒素，二酸化窒素の3つの気体について，それぞれ 14 g の窒素と化合している酸素の質量比は，2.0：1.0：4.0 である。亜酸化窒素の窒素含有量を％(質量百分率)で有効数字2桁にて求めよ。

(2)　二酸化窒素のファンデルワールス定数 b 値は，表1－1の酸素，一酸化窒素，亜酸化窒素の b 値の中のどれに近いと考えられるか。その理由を答えよ。

問 5　図1－1において，0 Pa から 2.0×10^7 Pa の間では，ヘリウムは圧力を上げると，Z が増えるのに対して，メタンは圧力を上げると Z が減少する理由を空欄A，Bの用語を用いて述べよ。

問 6　図1－2において，4.0×10^7 Pa 付近を境に低圧側では，メタンを低温にすると，Z が減るのに対して，高圧側では，メタンを低温にすると Z が増えている理由を述べよ。

問 7　キセノンについて以下の問に答えよ。キセノンの三重点は 161 K，8.2×10^5 Pa，臨界点は 290 K，5.8×10^6 Pa である。

(1)　キセノンの基底状態における電子配置を例にならって記せ。

（例）　アルゴン　K：2，L：8，M：8

(2)　161 K，8.2×10^5 Pa におけるキセノンの状態について説明せよ。

(3)　300 K において圧力を 5.8×10^6 Pa 以上に上げると，キセノンはどのような状態になるかを説明せよ。

(4)　表1－2にネオンからキセノンの貴ガス（希ガス）の a，b を記す。原子番号が大きくなるにつれて a，b は大きくなる傾向がある。その理由を答えよ。

表1－2　貴ガス（希ガス）のファンデルワールス定数

貴ガス	$a\left(\dfrac{\mathrm{L^2 \cdot Pa}}{\mathrm{mol^2}}\right)$	b(L/mol)
Ne	2.2×10^4	0.017
Ar	1.3×10^5	0.032
Kr	2.3×10^5	0.039
Xe	4.2×10^5	0.052

2 次の文を読み，以下の問に答えよ。

カルシウム化合物は工業用や身の回りの様々な用途に用いられている。

炭酸カルシウムは，わが国が100％自給できる数少ない鉱物資源であり，その用途はセメントや鉄鋼製錬，ガラス原料など多岐に及ぶ。身の回りでも歯磨剤(歯磨き粉)やチョークをはじめ食品添加物や医薬品としても用いられる。炭酸カルシウムは，石灰石を粉砕して得られる他，(A)水酸化カルシウムの飽和水溶液(石灰水)に二酸化炭素を通じて沈殿させる方法がある。

水酸化カルシウムに塩素を吸収させると(B)さらし粉が得られる。さらし粉を水に溶かすと［(ア)］作用のある［(イ)］イオンを生じ，漂白や消毒などに用いられる。プールの消毒などに用いられる固形の消毒剤は，さらし粉から塩化カルシウムの成分を除いた(C)「高度さらし粉」(塩素含有率(質量百分率)：39.6％)が用いられている。

硫酸カルシウムは天然には二水和物として産出し，「セッコウ」と呼ばれる。セッコウを約140℃に加熱すると硫酸カルシウム半水和物の「焼きセッコウ」となる。(D)焼きセッコウに適量の水を混合すると，発熱しながら膨張し，再びセッコウになって固まる。その性質を利用して，建築材料やセッコウ像などに用いられる。セッコウを板状に成型した(E)セッコウボードは耐火性の高い建築材料として広く用いられている。

カルシウムイオンやマグネシウムイオンを多く含む水は硬水と呼ばれ，欧州の多くの国の水道水はこれである。浴用や洗濯用としてセッケンと硬水を用いると，(F)泡立ちが悪くなり洗浄力が低下する。

(G)水や水溶液に含まれるカルシウムイオン濃度の測定は，エチレンジアミン四酢酸(EDTA)を用いて行われる。EDTAは2価～4価の金属イオンと1：1で結合し，安定なキレート化合物を生成する。キレートとはギリシャ語の「カニのはさみ」に由来しており，EDTAは中心金属イオンをあたかもカニが挟むような形で配位結合し，錯イオンを形成する。

問 1　下線部(A)の反応の際に，沈殿が生じてもさらに過剰の二酸化炭素を溶液中に吹き込むとどのような反応が起こるか。反応式と起こる変化を答えよ。

問 2　(ア)に当てはまる用語を下記から選び，(イ)に当てはまる用語を答えよ。

(ア)の選択肢：酸化，中和，還元

問 3　下線部(B)および下線部(C)の主成分の化学式を答えよ。

問 4　下線部(D)の反応を熱化学方程式で表せ。ただし，焼きセッコウ(固)，セッコウ(固)，水(液)の生成熱は25 ℃，1.013×10^5 Paにおいて，それぞれ1576 kJ/mol，2022 kJ/mol，286 kJ/molである。また，100 gの焼きセッコウを完全にセッコウにするために必要な水の質量を有効数字3桁で求めよ。

問 5　下線部(E)について，セッコウボードの耐火性が高い理由を50字程度で述べよ。

問 6　下線部(F)の理由を40字以内で述べよ。

問 7　下線部(G)に関して，EDTA を用いて，ミネラルウォーター中のカルシウムイオン濃度を以下のように測定した。

【使用器具】　2 mL 駒込ピペット，10 mL ホールピペット，50 mL ホールピペット，50 mL メスシリンダー，100 mL コニカルビーカー，25 mL ビュレット，ビュレット台，安全ピペッター，ポリ瓶，洗浄瓶(純水用)

【実験方法と結果】　①約 0.05 mol/L EDTA 水溶液を純水で 10 倍希釈し，ポリ瓶に貯蔵した(これを「EDTA 標準溶液」と呼ぶ。)。②$5.00 \times 10^{-3}$ mol/L 塩化カルシウム水溶液(塩化カルシウム標準溶液)10 mL をとってコニカルビーカーに入れ，③純水 40 mL を加えた。(H)8 mol/L KOH 水溶液 0.5 mL を加えて，よく振り混ぜ数分間放置した後，N. N. 指示薬[注)]を加えて，EDTA 標準溶液を用いて滴定したところ，終点までに 9.88 mL を要した。同様に，④試料(ミネラルウォーター)50 mL をとり，EDTA 標準溶液を用いて滴定したところ，終点までに 5.21 mL を要した。

注)　N. N. 指示薬：EDTA による滴定の終点の判定に用いられる指示薬で，pH 12～13 においてはカルシウムイオンと結合している状態では赤色を呈し，すべてのカルシウムイオンが EDTA と結合し終わると(終点時には)青色に変化する。

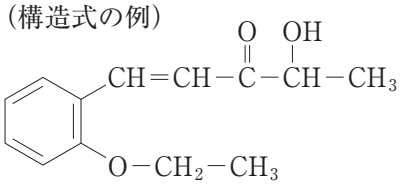
(1)　波線部①～④のうちで，ホールピペットを用いて正確にはかり取る必要がある操作が 2 つある。該当するものを選び，番号で答えよ。

(2)　下線部(H)の操作により，試料中に含まれるマグネシウムイオン Mg^{2+} を $Mg(OH)_2$ として沈殿させる。25 ℃ において，0.0100 mol/L Mg^{2+} を含む水溶液から Mg^{2+} の 99.9 % が $Mg(OH)_2$ として沈殿するときの pH を小数第 1 位まで求めよ。ただし，25 ℃ における $Mg(OH)_2$ の溶解度積は 9.0×10^{-12}(mol/L)^3，水のイオン積 K_w は 1.0×10^{-14}(mol/L)^2 とする。また，$[Mg(OH)]^+$ の生成は無視するものとする。

(3)　上記の実験結果から，EDTA 標準溶液のモル濃度および試料(ミネラルウォーター)中のカルシウムイオン Ca^{2+} 濃度(mg/L)をそれぞれ有効数字 3 桁で求めよ。なお，実験においてホールピペットは適切に使用されたものとする。

3 次の文を読み，以下の問に答えよ。ただし，構造式は例にならって記せ。

（構造式の例）



有機化合物を構成する元素は主に炭素，水素，酸素，窒素である。炭素原子どうしが次々と安定な共有結合をつくる能力があるため，有機化合物の構成元素の種類は少ないにもかかわらず，有機化合物の種類は極めて多い。

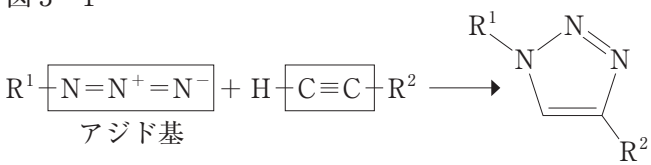
全て単結合からなる鎖式の飽和炭化水素をアルカンという。アルカンの分子式は，炭素原子の数(炭素数)を n とすると，一般式 C_nH_{2n+2} で表される。$n=1$ の分子は(　ア　)構造をとり，(　ア　)の中心に炭素原子が，各頂点に4個の水素原子が位置している。水素原子－炭素原子－水素原子がつくる角度(結合角∠HCH)は109.5°である。n が3以上の場合に①一般式 C_nH_{2n} で表される環式の飽和炭化水素を(　イ　)という。

分子内に炭素原子間の三重結合を1つ含む鎖式不飽和炭化水素をアルキンという。一般に，アルキンでは三重結合を構成している炭素原子とこれに直結する2個の原子は一直線上にある。アルキンは(　ウ　)反応を起こしやすく，代表的なアルキンであるアセチレン1分子に水素1分子を(　ウ　)させるとエチレンが生じ，水素2分子を(　ウ　)させるとエタンが生じる。

塩化ベンゼンジアゾニウムは窒素原子間に三重結合を含む。②塩化ベンゼンジアゾニウムの水溶液にナトリウムフェノキシドの水溶液を加えると，橙赤色の化合物Aが生成する。塩化ベンゼンジアゾニウムのようなジアゾニウム塩が他の化合物と反応し，化合物Aのようなアゾ化合物をつくる反応を(　エ　)という。

(　エ　)のように有機化合物どうしを連結するための技術は数多く開発されてきたが，反応性の高い試薬を厳密な条件下で注意深く取り扱わなければならない場合も多かった。しかし近年，有機化合物どうしを連結させる方法として，図3－1に模式的に示すように，窒

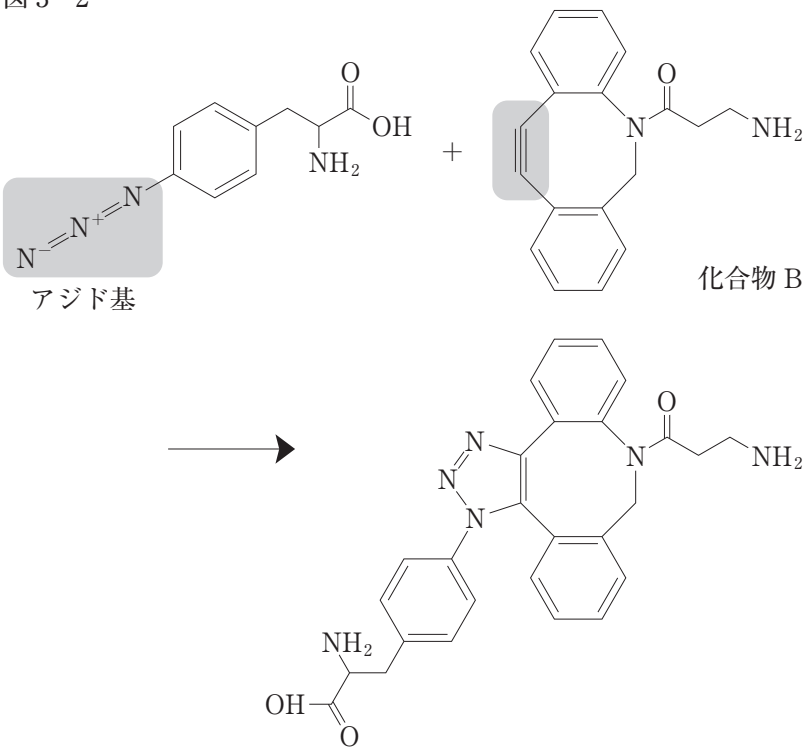
図3－1



R^1，R^2 は官能基以外の部分を示す。

素原子が３つ連なる官能基(アジド基)が炭素原子間の三重結合(以下，－C≡C－と示す)に(　ウ　)して環状構造を形成する反応が注目されている。この反応を進めるためには高温に加熱する必要があったが，③銅(Ⅰ)イオンを用いることにより室温下，水中で混ぜるだけで反応が進むことが発見された。④さらに図３－２に例を示すように，－C≡C－を含む部分を工夫することにより，生体内で有害となる銅(Ⅰ)イオンを用いずに(　ウ　)反応を進めることができるようになった。

図３－２



これによって，必要となるパーツ(アジド基と－C≡C－)を備えた化合物同士を混ぜ合わせるだけで連結させ，なおかつ副生成物をほとんど生じない「クリックケミストリー(Click Chemistry)」の手法が確立した。クリックという言葉は，あたかもシートベルトのバックルがカチッと音を立ててつながるように２つの分子が簡単につながることに由来する。クリックケミストリーは，タンパク質，核酸などの複雑な生体分子を連結させて利用価値の高い化合物をつくりたい場合に

有用な技術である。クリックケミストリーという概念を打ち出した3名の研究者に2022年のノーベル化学賞が贈られた。

クリックケミストリーは医療分野でさまざまな応用が期待される。膵(すい)臓のβ細胞は血液中のグルコース濃度(血糖値)を制御するインスリンをつくる細胞であり，糖尿病の治療において注目されている。⑤図3−1に示すクリックケミストリーの反応を用いれば，化合物群を組み合わせて多種類の新規化合物を効率よく合成することができ，β細胞の働きを制御する薬の開発に役立つ。また，クリックケミストリーにより化合物の合成が迅速にできるため，⑥放射線画像診断に応用可能な，半減期の短い放射性同位元素を含む化合物を短時間に合成することができる。

問 1　空欄(ア)〜(エ)に適切な語句を記入せよ。

問 2　下線部②について，化合物Aの名称と構造式を示せ。

問 3　下線部①の化合物について，以下の問に答えよ。

(1)　$n = 6$ の分子の名称と構造式を示せ。

(2)　$n = 6$ の分子は主にいす形構造をとる。このいす形構造の環を構成する炭素原子間の結合角と近い結合角 ∠HCC をもつのは以下の分子のどれか。記号で答えよ。

(a)　エタン　　(b)　エチレン　　(c)　アセチレン　　(d)　ベンゼン

(3)　臭素と容易に反応し，開環しやすいのは，$n = 3$ の分子と $n = 6$ の分子のうちのどちらか。

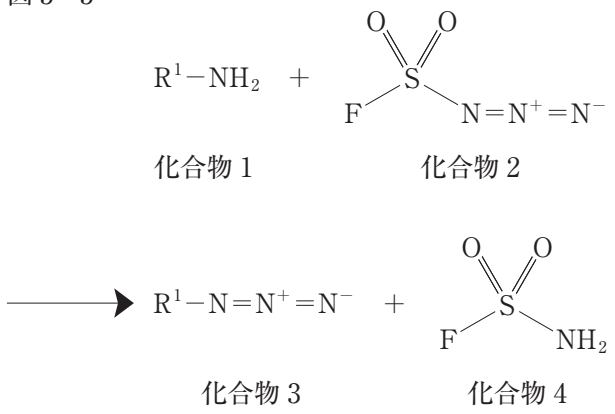
問 4　下線部③における銅(Ⅰ)イオンのような働きをするものを，何とよぶか。

問 5　図３－２の化合物Ｂではその分子構造のために，－C≡C－を構成する炭素原子とこれに直結する２個の炭素原子とが，一般的なアルキンとは異なり，一直線上に位置することができない。このことを考慮し，下線部④が可能となった理由を述べた以下の文章中の(オ)および(カ)について，【　　】内の語句のうちいずれか適切な語句を選び，記せ。

「化合物Ｂは，一般的なアルキンと比べて，分子のひずみが(　オ　)【増加・減少】し，不安定さが(　カ　)【大きく・小さく】なるためである。」

問 6　下線部⑤の具体例として，膵臓β細胞に結合することが知られている10種類の化合物のそれぞれに－C≡C－が導入されたＡ群と，1000種類の既存のアミンから構成されるＢ群を組み合わせて，「新規化合物」を合成した。図３－３はその時に使用される反応を示している。

図３－３



R^1 は官能基以外の部分を示す。

「新規化合物」の合成の手順を示した以下の説明文において，(　　)に適切な語句を下記の語群の中から選んで答えよ。

「(　a　)に含まれる各化合物を(　b　)と反応させ，その生成物をさらに(　c　)に含まれる各化合物と反応させる。」

(a)および(c)に対する語群	(b)に対する語群
A 群	化合物 1
B 群	化合物 2
	化合物 3
	化合物 4

問 7　**問 6** の手法が実現した場合，理論上，何種類の「新規化合物」を合成できるか。

問 8　下線部⑥に利用される放射性同位元素の１つは，酸素の同位体である ^{18}O を材料として製造され，^{18}O より陽子の数が１個多く，中性子の数が１個少ない。この元素は何か。元素記号に質量数をつけて答えよ。

生　　物

1

血液検査を行う目的は，病気の原因を調べる，病気の進行度合を調べる，治療効果を確認するなどである。また，健康であると思われるときでも血液検査を受けることで，病気の早期発見や早期治療につながる可能性がある。血液検査から診断できる病気は，糖尿病（慢性的に血糖値が高い状態）a）や貧血の他に，肝臓，腎臓b），膵臓（すい）c）などの機能異常である。

血液は全身の血管内を循環するが，血液の循環を行うポンプの役目を担っているのは心臓d）である。血液は細胞成分e）と液体成分からなる。細胞成分は，赤血球f），白血球g）及び血小板h）である。細胞成分で一番数が多いのは赤血球であり，哺乳類（ほにゅう）i）の赤血球は，扁平な形の細胞である。その内部にはヘモグロビンj）が大量に含まれている。ヒトの赤血球の寿命は120日程度であり，古くなった赤血球は脾（ひ）臓や肝臓などで壊され，新しくつくられたものと絶えず入れ替わっている。一方，液体成分は血漿（しょう）と呼ばれる。血漿の主成分は水であり，タンパク質k）やグルコースなどが含まれている。加えて，血漿は緩衝作用l）をもつ。

ヒトの肝臓は横隔膜の下に位置し，暗赤色の器官である。肝臓のはたらきとして尿素m）の合成，グリコーゲンn）の合成と分解，胆汁o）の生成などが知られている。胆汁は肝臓でつくられ，いったん胆嚢（のう）に蓄積された後，分泌される。

問題　下線部a）～o）に関連する次の問題に答えよ。

a）糖尿病の原因の１つは膵臓からのインスリンの分泌量の低下である。この場合の治療方法はインスリンの皮下注射である。このとき，インスリンを経口で投与せずに，皮下注射する理由を答えよ。

b）腎臓のはたらきが極度に低下すると，血液中に尿素などの老廃物が蓄積する。このとき，腎臓機能の代替えとして人工透析の装置が用いられているが，腎臓と人工透析の装置のはたらきには違いがある。その違いを１つ答えよ。

c）膵臓の状態は，消化酵素であるリパーゼの血液中濃度を測定することにより推定することができる。その理由を答えよ。

d）心臓の左心室の壁は右心室の壁よりも厚い。その理由を左心室と右心室のはたらきから考えて，答えよ。

e）健康な成人において血液の細胞成分を産生する部位の名称を答えよ。

f）ア）腎臓機能の低下が長期間続くと，赤血球数が低下する可能性がある。その原因を考え，答えよ。

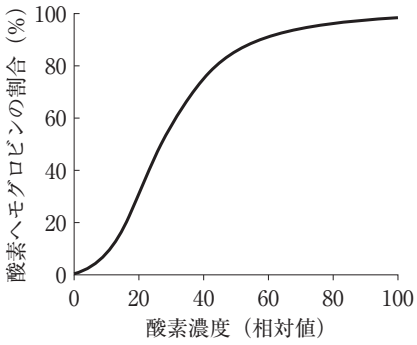
イ）ヒトの赤血球ではDNAは検出されない。その理由を答えよ。

g）白血球の１つにヘルパーＴ細胞がある。ヒト免疫不全ウイルス（HIV）はヘルパーＴ細胞に感染・増殖する。その結果，日和見（ひよりみ）感染を引き起こす可能性が高くなる。その理由を答えよ。

h）血小板数が著しく低下すると，生体においてどのような異常が起こるか，答えよ。

i）赤血球が扁平な形であることのメリットを答えよ。

j）ア）図１のように，周囲の酸素濃度が変化することによって，酸素ヘモグロビンの割合は変化する。その生体におけるメリットを答えよ。



［図１］酸素解離曲線

イ）ヘモグロビン A1c（HbA1c）はヘモグロビンにグルコースが結合した物質であり，全ヘモグロビン量に対する HbA1c 量の割合は糖尿病を診断するデータの１つとなりえる。その理由を問題文を参考にして答えよ。

k）ア）血漿中のタンパク質濃度が低下すると，腹腔内に水が溜まったり，浮腫（むくみ）が生じたりする。その理由を答えよ。

イ）血液凝固因子は血漿に存在しているタンパク質である。血友病患者では幾つかの血液凝固因子濃度が低下している。血友病患者は女性に比べて男性に多い。血友病患者が男性に多い理由を答えよ。

l）緩衝作用とは，酸あるいは塩基を加えても pH をほぼ一定に保つはたらきであり，タンパク質の変性を防ぐ。タンパク質の変性とは何か，答えよ。

m）血漿中の尿素濃度が上昇したとき，その原因として考えられることを２つ答えよ。

n）血漿中のグルコースからグリコーゲンが合成され，肝細胞内に蓄積される。グルコースではなく，グリコーゲンとして蓄積することのメリットを答えよ。

o）胆汁が分泌された後，作用する消化管の部位を答えよ。

2

一般に[a)]クラゲとは，傘形あるいは鐘形でゼラチン質の体をもち，浮遊生活を送る無脊椎動物の総称であり，[b)]刺胞動物門か，[c)]有櫛（しつ）動物門のいずれかに分類される。ここで扱うクラゲとは，刺胞動物門に属する種に限定する。

クラゲは雌雄異体で，放出された卵と精子が海中で受精し，[d)]受精卵は卵割と細胞分化の結果，遊泳性の幼生（プラヌラ）となる。そしてプラヌラが岩場や岸壁などに付着するとポリプとなり，出芽により増殖する。温度などの条件がそろうと，ポリプはクラゲとなる。つまりクラゲはライフサイクルの中に，浮遊性と固着性の２つの世代をもち，それぞれ有性生殖で増える有性世代と[e)]無性生殖で増える無性世代である。

クラゲは，夏の海水温上昇，富栄養化などにより大きく成長し，お盆を過ぎた海で，クラゲに刺される危険性が高くなる。クラゲは，刺激を受容すると刺胞から刺針・刺糸を射出して相手に毒液を注入する。クラゲの種類によって毒の強弱には大きな差があり，刺されても何も感じなかったり，軽い痛み程度の場合もあれば，激しい痛みを感じたり，頭痛，吐き気のほか，[f)]肺水腫などの重篤な症状を引き起こす場合もある。クラゲの主要な[g)]毒素はタンパク質からなるが，毒としてはたらくしくみはほとんど分かっていない。その理由は，クラゲの毒素を構成するタンパク質が不安定で，活性を保持したままで単離することが非常に難しいからである。

一方で，クラゲから抽出されたタンパク質が，生命科学研究を飛躍的に前進させた事例もある。2008 年のノーベル化学賞は[h)]緑色蛍光タンパク質（GFP）の発見と応用により，下村博士らに贈られた。GFP はオワンクラゲから単離されたものである。

また近年，飼育が比較的容易なタコクラゲ，ミズクラゲ，サカサクラゲなどが，ペットとして人気がある。[i)]タコクラゲは，体内に褐虫藻が共生していることが多く，褐色である。

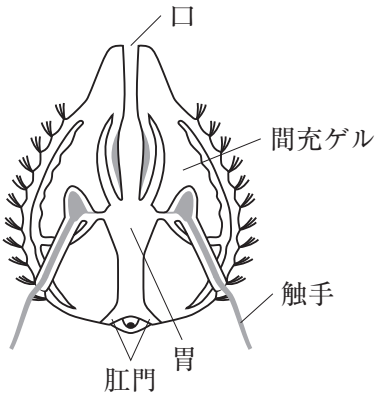
問題　下線部ａ）～ｉ）に関連する次の問題に答えよ。

ａ）クラゲの神経系は散在神経系である。集中神経系には存在するが散在神経系には存在しない構造を答えよ。

ｂ）刺胞動物門は二胚葉性生物である。三胚葉性生物にはあるが二胚葉性生物にはない胚葉の名称を答えよ。また，両生類において，その胚葉から分化し，形成される器官を以下の中から全て選べ。

脳　筋肉　表皮　真皮　腎臓　肝臓　膵臓　心臓
消化管

ｃ）図２を参考にして，刺胞動物門と有櫛動物門の体制における違いを１つ答えよ。



［図２］クシクラゲ（有櫛動物門）の模式図

ｄ）ア）卵割が通常の体細胞分裂と異なる点を１つ答えよ。

イ）ある多細胞動物の受精卵をRNA合成阻害剤で処理した場合，胞胚になることができるが，その後発生が停止した。この現象が起こる原因を答えよ。

e）ア）無性生殖には，分裂や出芽，栄養生殖がある。出芽で増える生物を以下の中から全て選べ。

ヒドラ　ミドリムシ　センチュウ　ミジンコ　ヒトデ
酵母菌　大腸菌　ジャガイモ

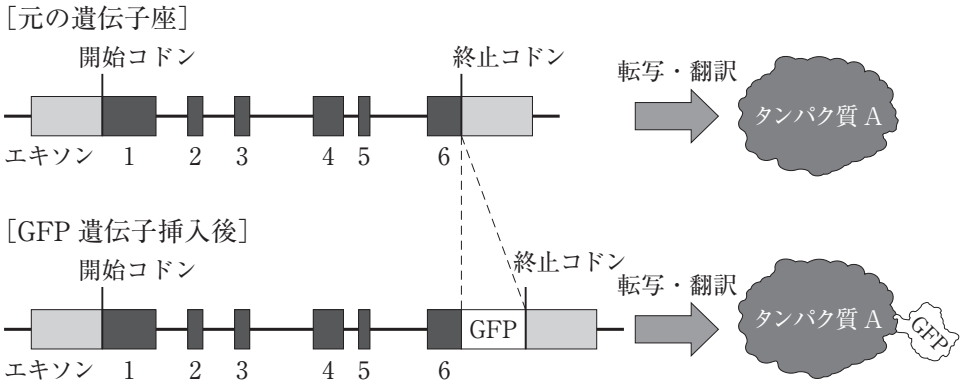
イ）無性生殖のメリットとデメリットをそれぞれ１つ答えよ。

f）肺水腫とは，肺胞を取り囲む毛細血管から血液の液体成分が肺胞内に染み出た状態のことである。肺水腫により呼吸不全に陥ることがあるが，それはなぜか，答えよ。

g）フグ毒の主要な毒素であるテトロドトキシンは，神経や骨格筋の電位依存性ナトリウムチャネルに結合し，ナトリウムイオンの透過を妨げるはたらきがある。カエルの[注)]神経筋標本にテトロドトキシンを作用させ，運動神経を電気刺激した。このとき，軸索における活動電位と筋の収縮はそれぞれどうなると予想されるか，答えよ。

[注)]神経筋標本：神経とそれが支配する筋肉との生理学的連絡を保ったまま生体外に摘出した標本

h）ア）図３のように，タンパク質Ａの遺伝子の最後のエキソン（エキソン６）にGFP遺伝子を挿入し，この遺伝子座から「GFPが結合したタンパク質Ａ」を発現するショウジョウバエを作製した。この遺伝子改変ショウジョウバエを用いることによって分かることを１つ答えよ。



［図３］GFP遺伝子を挿入した遺伝子座と遺伝子産物

イ）この遺伝子からタンパク質Ａが合成される際，転写から翻訳に至る過程でmRNAにおいてどのような変化が起こるか，答えよ。

i）タコクラゲと褐虫藻は相利共生の関係にある。それぞれにとってのメリットは何か，それぞれの形態や生態などを考えて答えよ。

3

a)単孔類は哺乳などの哺乳類特有の特徴をもつことに加えて，b)爬(は)虫類と共通する特徴をもっている。かつてオーストラリアでは単孔類が繁栄していたが，約7,100万年から約5,400万年前に有袋類が侵入してきたことによって単孔類の多くが絶滅し，現在はc)カモノハシとハリモグラだけが生き残っている。d)遺伝子解析の結果，約5,500万年前に共通の祖先からカモノハシとハリモグラとが分岐した可能性が高い。共通の祖先は水陸両生であり，その後に陸だけに棲(す)むようになったものがハリモグラであると考えられている。

e)有袋類は未熟な状態で生まれた子どもを育児嚢(のう)で育てる。育児嚢は通常腹部にある袋で，育児嚢の中には乳頭があり，子どもはこれをくわえて母乳を摂取する。ただし，フクロアリクイなど，一部の有袋類には育児嚢が無い。f)現在，オーストラリア大陸には，コアラやカンガルーなどのさまざまな種類の有袋類が生息している。これらは，g)適応放散によって生じたと考えられている。

コアラは通常単独で生活し，h)群れをつくらない。オスのコアラの胸には外分泌腺があり，分泌液を木の幹にこすりつけて自分のi)縄張りを主張する。また，コアラはユーカリの葉を主食とするが，ユーカリの葉には毒性成分が含まれている。j)コアラでは腸内に生息する細菌（バクテリア）がユーカリの葉の毒性成分を分解する。加えて，他の動物と比較して，肝臓において解毒作用に関与する酵素の遺伝子の発現量や酵素活性が高い。

西暦1859年にアナウサギがヨーロッパからオーストラリア大陸に導入された。以後，アナウサギの個体数が増加し，生息範囲が広がり，オーストラリア大陸にもともと生息していた有袋類の一部が滅んだ。一般に，k)外来生物による競争的排除や捕食によって，在来生物の個体群で個体数が減少すると考えられている。

問題　下線部ａ）～ｋ）に関連する次の問題に答えよ。

ａ）単孔類がもつ哺乳類の特徴として，哺乳と恒温性以外の特徴を１つ答えよ。

ｂ）単孔類がもつ爬虫類と共通する特徴を１つ答えよ。

ｃ）カモノハシが現在まで生き残ることができた理由を問題文を参考にして，答えよ。

ｄ）ア）現存する生物の特定の遺伝子の DNA の塩基配列を比較すると，種間の類縁関係や種が分岐した時期を推測することができる。その理由を答えよ。

イ）種の個体数を増加・安定させるためには遺伝的多様性が重要であると考えられ，遺伝的多様性が低下すると，同じ空間に存在する同じ種の個体数が減少してしまう可能性がある。その理由を答えよ。

ウ）異なる地域に生息する同種の個体群の間に遺伝的な違いが生じることがある。このように，遺伝的な違いが生じる理由を答えよ。

ｅ）有袋類は，真獣類と比べて，未熟な状態で子どもが生まれてくるのはなぜか，原因を答えよ。

ｆ）ア）オーストラリア大陸以外では，有袋類はほとんど生息していない。その理由として考えられることを答えよ。

イ）同じ空間において複数の種が共存できる理由を答えよ。

ｇ）適応放散とは何か，答えよ。

h）群れをつくることのメリットを１つ答えよ。

i）ア）縄張りと行動圏の違いを答えよ。

イ）単独で縄張りを形成する動物は，条件によっては縄張りを維持しなくなる場合がある。どのような条件が考えられるか，例を１つ答えよ。

j）コアラの子どもは離乳が始まる頃にユーカリの葉の毒性成分を分解する細菌を得る。その方法を推測し，答えよ。

k）これが考えられる理由を答えよ。