

令和5年度 試験問題

理 科 (120分)

(化学基礎・化学 生物基礎・生物)

注 意

- 1 試験開始の合図があるまで、問題冊子の中を見てはいけません。
- 2 問題冊子は29ページあります。化学基礎・化学あるいは生物基礎・生物のいずれか一科目だけを選び、解答しなさい。両方を解答した場合は、いずれも採点の対象にならないので注意すること。
- 3 各科目の解答用紙は4枚あります。解答用紙には受験番号欄と氏名欄があるので、監督者の指示に従って、それぞれ正しく記入しなさい。
- 4 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手をあげて監督者に知らせなさい。
- 5 「選択しなかった科目の解答用紙」を試験時間中に監督者が回収するので、表紙に大きく×印をして機の通路側に置きなさい。
- 6 解答は、全ての解答用紙の指定された欄に書きなさい。
- 7 問題冊子の余白等は適宜利用してよいが、どのページも切り離してはいけません。
- 8 試験終了後、問題冊子は持ち帰りなさい。

問題訂正

訂正箇所及び訂正内容

2 ページ

化学基礎・化学 問題1 問4の文章

[誤] 「…水溶液の色が無色から赤褐色に変わる。」

↓

[正] 「…水溶液の色が無色から変わる。」

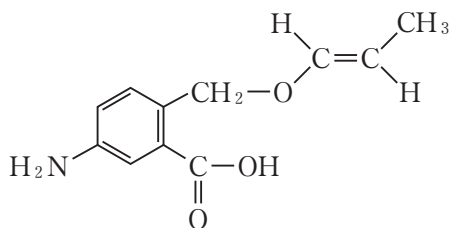
化学基礎・化学

【注意】 以下の問題を解くために、必要があれば次の数値を用いること。なお、構造式は例にならって書け。また、気体はすべて理想気体とする。

原子量：H = 1.0, C = 12, N = 14, O = 16, Fe = 56, Cu = 64

ファラデー定数： 9.65×10^4 C/mol

〔例〕



問題 1 次の問 1～問 6 に答えよ。(50 点)

酸化・還元は酸素の授受だけでなく、水素および電子の授受によっても定義される。
(1) 酸化と還元は常に同時に起こり、これを酸化還元反応という。酸化還元反応を利用して、濃度不明の還元剤、または酸化剤の水溶液の濃度を求める一連の操作を酸化還元滴定という。滴定の終点では、酸化剤と還元剤は過不足なく反応する。
(2)

問 1 下線部(1)に関して、還元の定義を水素および電子の授受にもとづいて、2行程度で答えよ。

問 2 酸化還元反応と関係のないものを次の選択肢①～⑥の中からすべて選び、記号で答えよ。

[選択肢]

- ① くぎを放置すると、表面に赤いさびがついた。
- ② フェノールフタレイン溶液を加えた食酢に水酸化ナトリウム水溶液を加えていくと、赤色に変わった。
- ③ 硫酸銅(Ⅱ)水溶液に亜鉛片を入れると、銅が析出した。
- ④ アルカリマンガン乾電池に電球をつなぐと点灯した。
- ⑤ 放電したリチウムイオン電池を外部電源につないで充電した。
- ⑥ 天然ガスに点火すると激しく燃焼した。

問 3 次の酸化還元反応で、酸化剤および還元剤としてはたらく物質について、酸化数に変化する原子の元素記号と、その原子の反応前後における酸化数を答えよ。

- (a) $2\text{Mg} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{MgO} + \text{C}$
- (b) $2\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{S}$
- (c) $\text{NaClO} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_2$

問 4 臭化カリウム水溶液に塩素を吹きかけると臭素を生じ、水溶液の色が無色から赤褐色に変わる。

- (a) この反応について、化学反応式を書け。
- (b) 塩化カリウム水溶液に臭素水を加えるとどうなるか。その理由を含めて 1 行程度で答えよ。

問 5 下線部(2)について、濃度不明の過酸化水素水の濃度を求めるために酸化還元滴定を行った。濃度不明の過酸化水素水 10 mL をホールピペットを用いて正確にはかりとり、メスフラスコに入れ、硫酸を加えて酸性にし、純水を加えて正確に 100 mL とした。この純水で⁽³⁾うすめた過酸化水素水 10 mL をホールピペットで正確にはかりとり、コニカルビーカーに移した。コニカルビーカーを軽く振って溶液を混ぜながら、ビュレットを用いて 0.10 mol/L の過マンガン酸カリウム水溶液で滴定すると、合計 20 mL 滴下したところで、水溶液の赤紫色が消えなくなったので終点とした。

- (a) この酸化還元反応について、化学反応式を書け。
- (b) 下線部(3)について、硫酸の代わりに塩酸を用いることができない理由を、1 行程度で答えよ。
- (c) 濃度不明の過酸化水素水の濃度は何 mol/L か、有効数字 2 桁で答えよ。また、求める過程も示せ。

問 6 白金電極を用いて、硝酸銅(II)水溶液を 0.60 A の電流で 80 分 25 秒間電気分解した。

- (a) この電気分解で流れた電子の物質量は何 mol か、有効数字 2 桁で答えよ。また、求める過程も示せ。
- (b) 陽極および陰極で生成する物質の化学式を答えよ。
- (c) (b)について、陽極および陰極で生成する物質の質量はそれぞれ何 g か、有効数字 2 桁で答えよ。また、求める過程も示せ。

問題 2 次の問 1～問 5 に答えよ。(50 点)

問 1 金属イオンの混合水溶液から、沈殿の生成反応と溶解反応を利用して、各金属イオンを分離することができる。 Fe^{3+} 、 Ag^+ 、 Ca^{2+} 、 Cu^{2+} 、 K^+ 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 、および Al^{3+} イオンを含む水溶液に対して、図 1 に示す操作を行い、沈殿 A～沈殿 F を得た。

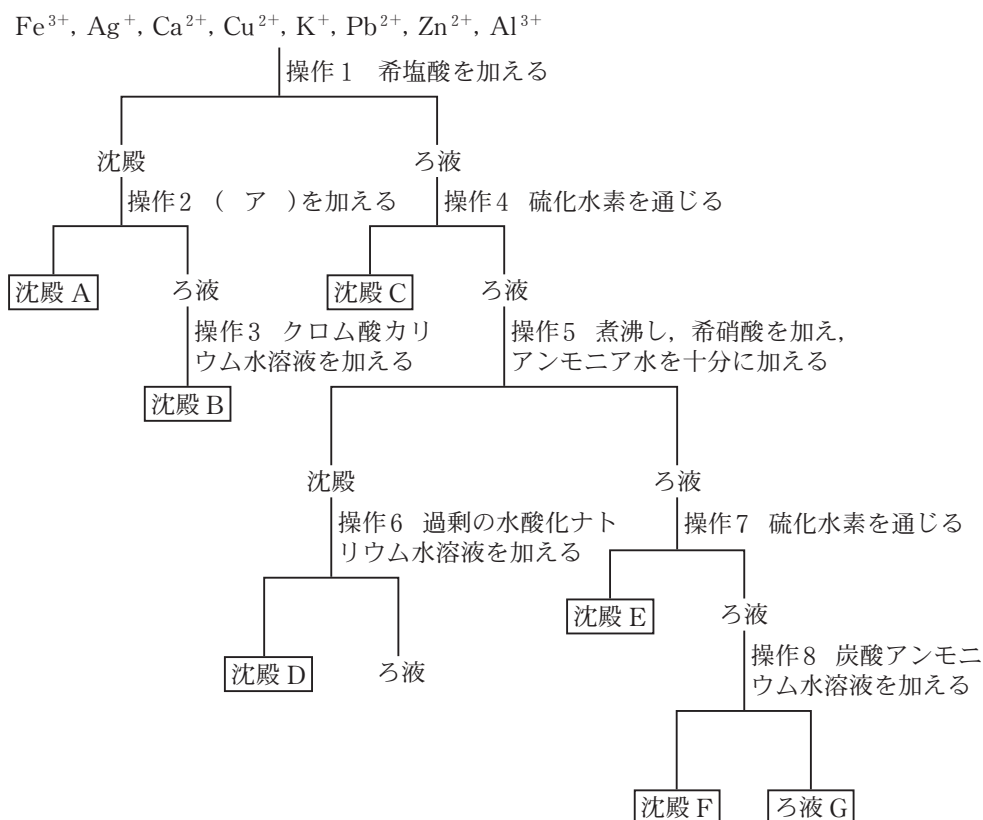


図 1

- (a) 各操作で生じる沈殿 A～沈殿 F を化学式で答えよ。
- (b) 操作 2 の(ア)にあてはまる適切な語句を答えよ。
- (c) ろ液 G に含まれる金属イオンは何か、イオン式で示せ。また、その金属イオンの存在をどのように確認するか、1 行程度で説明せよ。

問 2 硫酸銅(Ⅱ)水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加えると、青白色の沈殿⁽¹⁾を生じる。この沈殿を加熱すると、黒色の物質⁽²⁾に変化した。一方、この青白色の沈殿に過剰のアンモニア水を加えると、最初に生じた青白色の沈殿は溶け、深青色の溶液⁽³⁾となった。

- (a) 下線部(1)および下線部(2)の物質の化学式と、その名称を書け。
(b) 下線部(3)の溶液中に生成した錯イオンの化学式を書け。

問 3 硝酸銀水溶液に、水酸化ナトリウム水溶液⁽⁴⁾、臭化カリウム水溶液⁽⁵⁾、硫化水素水⁽⁶⁾、クロム酸カリウム水溶液⁽⁷⁾を加えると、それぞれ沈殿が生じた。下線部(4)～下線部(7)の水溶液を加えて生じたそれぞれの沈殿の化学式および色を書け。

問 4 ベーキングパウダー(ふくらし粉)をケーキなどの生地添加到して加熱すると、生地がふくらむ。炭酸水素ナトリウムがベーキングパウダーに用いられている理由を、化学反応式を用いて2行程度で説明せよ。

問 5 赤鉄鉱、コークス、および石灰石を溶鉱炉に入れ、下から熱風を送ると、生じた一酸化炭素により、赤鉄鉱に含まれる鉄の酸化物 Fe_2O_3 が還元され銑鉄が得られる。

- (a) 上記の鉄の酸化物から銑鉄が得られる反応を化学反応式で示せ。
(b) 赤鉄鉱から、4.0%の炭素を含む銑鉄 1.0 t を得た。このとき赤鉄鉱は最低何 t 必要か、有効数字 2 桁で答えよ。また、求める過程も示せ。ただし、赤鉄鉱には 85%の Fe_2O_3 が含まれているものとする。
(c) 銑鉄に含まれる炭素を 2～0.02%に減らした鋼をつくるためには、融解した銑鉄にどのような処理をすればよいか、またその処理により、鋼はどのような性質をもつようになるか、それぞれ 1 行程度で答えよ。

問題 3 次の文章を読み、問 1～問 4 に答えよ。(50 点)

窒素 N_2 と水素 H_2 の混合気体から気体のアンモニア NH_3 を可逆的に直接合成
(1) することができる。ハーバーとボッシュは、 NH_3 合成の反応速度を大きくする
種々の鉄化合物の触媒作用を調べ、四酸化三鉄 Fe_3O_4 を主成分とする触媒を用い
て温度 $400 \sim 500^\circ C$ 、圧力 $1 \times 10^7 \sim 3 \times 10^7 Pa$ の条件で効率よく NH_3 を合成す
ることに成功した。合成された NH_3 は、平衡状態にある混合気体を冷却すること
により、液体として取り出すことができる。(2)

N_2 と H_2 の混合気体ではヘンリーの法則が成り立ち、一定温度で、一定体積の
水に溶ける N_2 と H_2 の物質量は、それぞれの気体の分圧に比例する。一方で、ヘ
ンリーの法則は NH_3 では成り立たない。 NH_3 は弱塩基であり、水溶液中で電離平
衡の状態にある。酸や塩基が溶液中で電離する割合を電離度とよび、 α で表され
る。 α の値は酸や塩基の濃度に依存して変化する。(3)
(4)

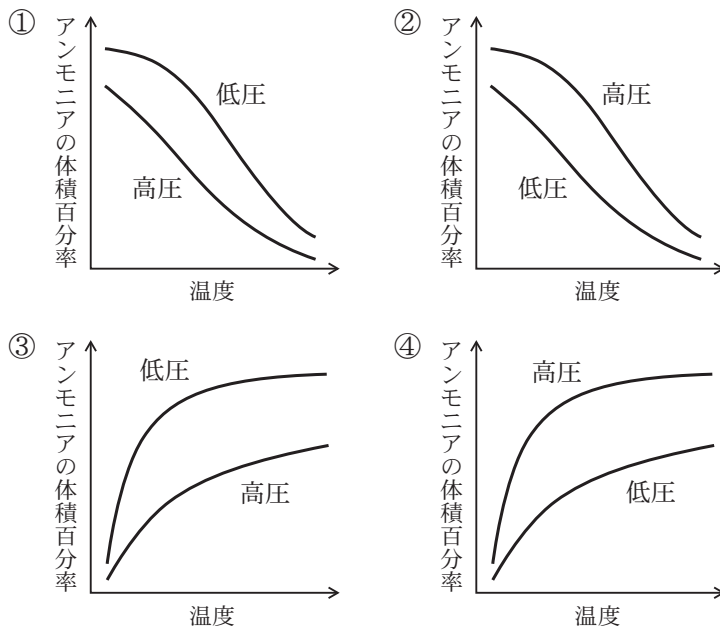
問 1 下線部(1)について、 NH_3 合成の熱化学方程式は[1]式で表される。



- (a) 反応物である N_2 と H_2 が無極性分子であるのに対して、生成物である
 NH_3 は極性分子である。 NH_3 の電子式と立体構造の模式図を書け。ただ
し、立体構造には、電荷のかたよりが分かるように、正の電荷を帯びている
原子に $\delta+$ 、負の電荷を帯びている原子に $\delta-$ を示せ。

- (b) 温度と圧力を変化させて平衡状態にしたとき、アンモニアの体積百分率はどのように変化するか、最も適したグラフを次の選択肢①～④の中から1つ選び、記号で答えよ。

[選択肢]



- (c) ある温度における濃度平衡定数 K_c [(mol/L)⁻²] を正反応の反応速度定数 k_1 、逆反応の反応速度定数 k_2 を用いて示せ。
- (d) 物質比が 1 : 3 の N_2 と H_2 の混合気体を密閉容器に封入し、一定温度で反応させたとき、反応前に 2.0×10^7 Pa であった全圧が 1.2×10^7 Pa で平衡に達したとする。この反応の圧平衡定数 K_p [Pa⁻²] を有効数字 2 桁で答えよ。また、求める過程も示せ。

問 2 下線部(2)について、図 2 に示すように 15 族元素であるアンチモン Sb, ヒ素 As, リン P の水素化合物の沸点は、分子量が小さくなるほど低くなる傾向にあるが、最も分子量が小さい NH₃ の沸点は著しく高い。NH₃ の沸点が高い理由を 1 行程度で説明せよ。

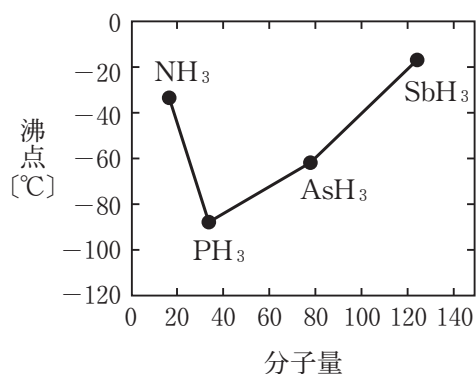


図 2

問 3 下線部(3)について、NH₃ に対してヘンリーの法則が成り立たない理由を 1 行程度で説明せよ。

問 4 下線部(4)について、次の(a)および(b)に答えよ。

- (a) 1 価の弱塩基の電離度 α を、電離定数 K_b [mol/L], 弱塩基の濃度 c [mol/L] を用いて書け。
- (b) 5.0×10^{-2} mol/L のアンモニア水の水素イオン濃度 [mol/L] を有効数字 2 桁で答えよ。また、求める過程も示せ。ただし、NH₃ の電離定数 $K_b = 2.0 \times 10^{-5}$ mol/L, 水のイオン積 $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$ (mol/L)² とする。

問題 4 次の問 1～問 3 に答えよ。(50 点)

問 1 実験 1 および実験 2 について、次の問に答えよ。

実験 1 メタノールを試験管にとり、米粒大の単体のナトリウム小片 1 粒を加えると気体が発生した。

実験 2 メタノールを試験管にとり、空気中で熱した銅線をメタノール液面近くに差し込んだ。

- (a) 実験 1 の反応について、化学反応式を書け。
- (b) 実験 1 の反応は、分子中のある官能基の検出に用いられる。その官能基の名称を書け。
- (c) 実験 1 の反応により、標準状態 (0°C , $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$) で 448 mL の気体が発生したとき、反応したメタノールの物質量は何 mol か、有効数字 2 桁で答えよ。また、求める過程も示せ。
- (d) 実験 2 で液面近くのメタノールと空気中で熱した銅線の反応について、化学反応式を書け。

問 2 酢酸は刺激臭のある無色の液体で、特に純度の高いものは(ア)と呼ばれる。酢酸を水酸化カルシウムで中和すると化合物 A が得られる。化合物 A を⁽¹⁾(①)するとアセトンが得られる。アセトンは、アルケンの化合物 B を直接酸化するか、化合物 B に水を付加させた化合物 C の酸化によっても得られる。また、アセトンは(②)によって工業的に得られるフェノールと同時に生成される。酢酸は十酸化四リン P_4O_{10} と加熱すると化合物 D になる。セルロースに(ア)と化合物 D、少量の濃硫酸を作用させると半合成繊維である(イ)の原料が得られる。酢酸とエタノールの混合物に濃硫酸を少量加えて加熱すると、酢酸エチルが生じる。この反応液に多量の水を加えて放置すると、徐々に加水分解されて酢酸とエタノールを生じるが、少量の酸が存在すると、酸の(ウ)が触媒としてはたらき、反応が速く進行する。酢酸エチルを⁽²⁾

試験管にとり、水酸化ナトリウム水溶液を静かに加え、図3のように、この試験管に長いガラス管をつけ、沸騰石を入れておだやかに加熱し、十分に反応させた。この加水分解の反応は、特に(③)と呼ばれる。

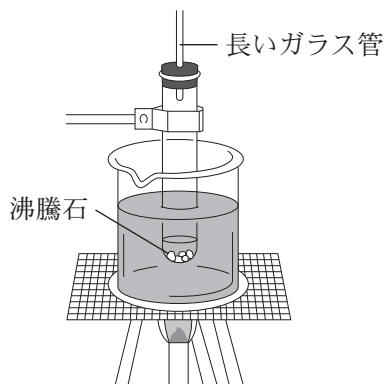
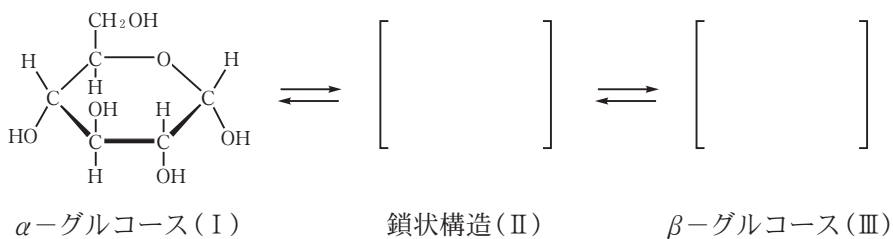


図3

- (a) (ア)～(ウ)にあてはまる適切な語句を答えよ。
- (b) (①)～(③)にあてはまる適切な反応名または生成法を答えよ。
- (c) 下線部(1)の反応について、化合物Aの示性式を含めて化学反応式を書け。
- (d) 化合物B～化合物Dの構造式を書け。
- (e) 下線部(2)の反応について、化学反応式を書け。
- (f) 下線部(2)の反応で、長いガラス管を使用する理由について、1行程度で説明せよ。
- (g) 酢酸エチルの構造異性体のうち、カルボン酸の構造式をすべて書け。

問 3 デンプンはアミロースとアミロペクチンの混合物で、だ液に含まれる酵素の (エ) で加水分解すると、デンプンよりも分子量が小さい多糖の (オ) やマルトースを生じ、さらに希酸などにより加水分解すると最終的にグルコースになる。グルコースは水溶液中で、 α -グルコース(I)が鎖状構造(II)を経て β -グルコース(III)と平衡状態にある。



- (a) (エ) および (オ) にあてはまる適切な語句を答えよ。
- (b) グルコースの鎖状構造(II) および β -グルコース(III) の構造式を α -グルコース(I) の構造式にならって書け。
- (c) アミロース ($C_6H_{10}O_5$)_n 16.2 g を酵素により加水分解したところ、マルトース $C_{12}H_{22}O_{11}$ は何 g 生じたか、有効数字 3 桁で答えよ。また、求める過程も示せ。ただし、アミロースはすべて加水分解されて、マルトースのみを生じたものとする。

生物基礎・生物

問題 1 次の問 1～問 3 に答えよ。(50 点)

問 1 生物の生存に必要なすべての遺伝子セットを含む、ゲノムの全塩基配列を決めること、すなわちその生物の設計図を解き明かす作業をゲノムプロジェクトと呼ぶ。21 世紀初めには、およそ(ア)塩基対からなるヒトゲノムの全塩基配列も解明された。その中に含まれる遺伝子数は約(イ)個と推定されている。ヒトゲノムは個人個人でわずかに違い、塩基配列にも(ウ)%ほどの⁽¹⁾個人差がある。その中でも、ゲノム上の同じ位置の塩基配列において、異なる配列が複数存在することがあり、そのうち、ある一定の範囲の塩基配列のうち塩基が 1 つ異なっている状態を(エ)という。

(a) (ア)～(ウ)にあてはまる最も近い数字を次の選択肢①～⑨の中から 1 つ選び、記号で答えよ。

[選択肢]

- | | | |
|-----------|-----------|--------|
| ① 0.1 | ② 1 | ③ 10 |
| ④ 1 万 4 千 | ⑤ 2 万 2 千 | ⑥ 10 万 |
| ⑦ 30 万 | ⑧ 30 億 | ⑨ 60 億 |

(b) (エ)にあてはまる適切な語句を答えよ。

(c) 下線部(1)のようなヒトゲノムの個人差を調べることは、何に活用されると思うか、その例を 2 つ考えてそれぞれ 1 行程度で答えよ。

問 2 遺伝子の発現過程では、DNA の配列情報が RNA の配列に写し取られ、mRNA 前駆体ができる。この過程を(オ)と呼ぶ。真核生物では、(オ)の後に、mRNA 前駆体から DNA の(カ)に対応する部分が切除されて、アミノ酸配列の情報をもつ部分を含む(キ)に対応する部分がつなぎ合わされて mRNA ができる。

mRNA の情報をもとにタンパク質がつくられる過程を(ク)と呼ぶ。(ク)の基本的なしくみは、開始・伸長・終了の3つの過程からなる。(ク)は細胞小器官の(ケ)で行われる。(ケ)は、mRNA の情報にしたがって、tRNA が運んできたアミノ酸を(コ)結合で次々につないでいく。⁽²⁾

- (a) (オ)～(コ)にあてはまる適切な語句を答えよ。
- (b) 324 個のアミノ酸で構成されるあるタンパク質の mRNA は 1180 塩基であり、そのうち、5' 末端から開始コドン前の翻訳されない領域には 60 塩基ある。このタンパク質の 301 番目のアミノ酸を指定するコドンは AGC であった。この AGC のグアニンは、mRNA の 3' 末端から何番目の塩基になるか答えよ。また、求める過程も示せ。
- (c) 一般に、細胞に含まれる tRNA の種類は、アミノ酸の種類よりも多い。その理由を、2 行程度で答えよ。
- (d) それぞれの tRNA が、対応する mRNA のコドンに結合できる理由を、1 行程度で答えよ。
- (e) 下線部(2)に関連して、側鎖に R をもつ図 1 に示すようなアミノ酸が 2 つ結合した構造を解答欄に示せ。

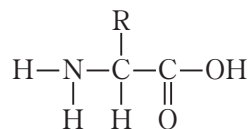


図 1

問 3 ある純系のメダカ A とメダカ B が存在する。この 2 種は互いに交配し、雑種を形成することがある。メダカ A とメダカ B の雌雄各 1 匹ずつの合計 4 匹のメダカが入った水槽で、産卵に適切な環境下で飼育したところ、いくつかの卵から胚の発生が観察された。この中から胚 1 と胚 2 を採取して、それぞれの DNA を抽出し、PCR 法で核の常染色体上の遺伝子あるいはミトコンドリアの遺伝子の一部の領域を増幅させた。メダカ A の雌雄、あるいは、メダカ B の雌雄の交配で生じた胚からも、同様に DNA を抽出して同じ遺伝子領域を増幅させた。次に、増幅した DNA の一部を、ある制限酵素で処理した。この実験で得られた制限酵素処理前と制限酵素処理後の DNA 断片を、電気泳動で調べた結果を図 2 に示す。

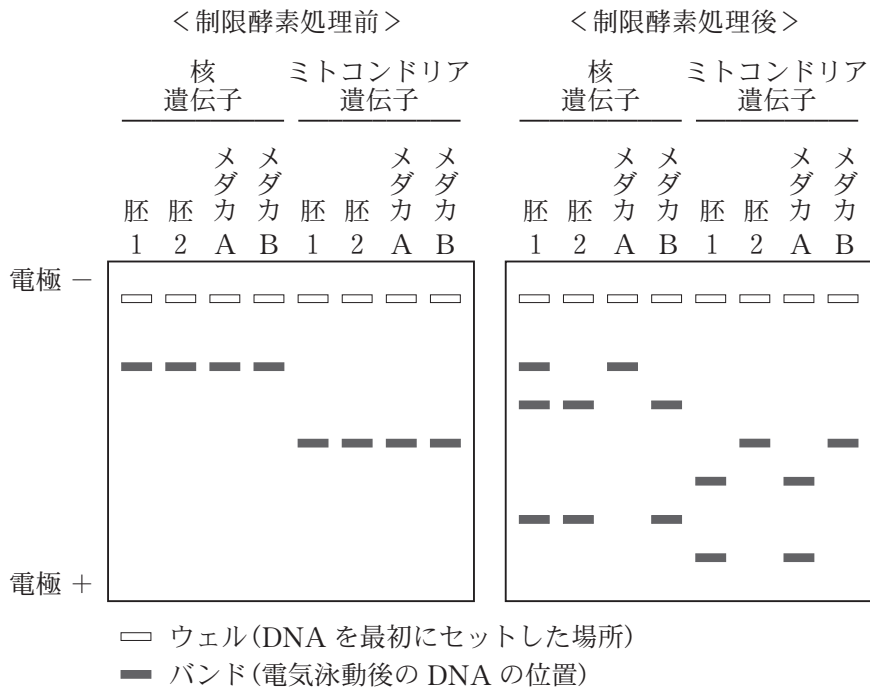


図 2

(a) 胚1と胚2の両親の組み合わせを、(例)を参考にして解答欄に記せ。ただし、ミトコンドリアは、雌親からのみ受け継がれるものとする。

(例) 雌 メダカC 雄 メダカD

(b) 胚1から生まれた雌メダカと胚2から生まれた雄メダカを交配したとき、生まれてきた胚3の核遺伝子とミトコンドリア遺伝子を、同じ制限酵素で処理した。電気泳動後のバンドの現れ方は、核遺伝子はaまたはbの2種類、ミトコンドリア遺伝子はcの1種類が想定される。それぞれの電気泳動結果について、解答欄の例にならってa、bおよびcのバンドを示せ。

問題 2 次の文章を読み、問 1～問 10 に答えよ。(50 点)

私たちの生命活動を支える代謝は、細胞のさまざまな場所で円滑に進行するが、これを可能にしているのが酵素である。酵素は化学反応の触媒としてはたらく、⁽¹⁾その本体はタンパク質である。酵素が基質と結合する部分は(ア)⁽²⁾と呼ばれるが、(ア)に適合しない物質は酵素の触媒作用を受けないため、酵素は特定の化学反応だけを促進する。酵素のこのような性質を(イ)という。

私たちのからだの中のある酵素 E は、ある基質 S をある生成物 P に変える反応を触媒するものとする。このとき、生成物 P は基質 S に変化しない。また、生成物 P は酵素 E の活性に影響しない。この酵素 E の最適条件で次の実験を行った。ただし、反応中に酵素 E の失活は起こらないものとする。

実験 1 一定量の酵素 E を、酵素 E の濃度に対し十分に高い濃度の基質 S を含む溶液に加えて反応を開始し、経時的に生成物 P の生成量を測定したところ、図 3 の結果が得られた。

実験 2 実験 1 において基質 S の濃度をいろいろ変化させ、酵素反応の初期における反応速度を測定したところ、図 4 の結果が得られた。

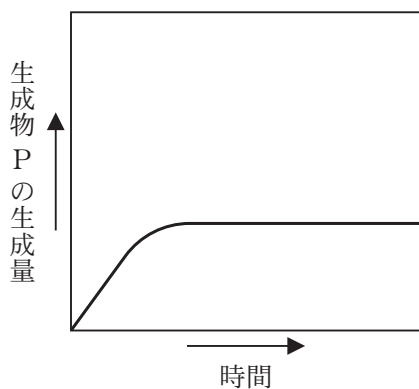


図 3

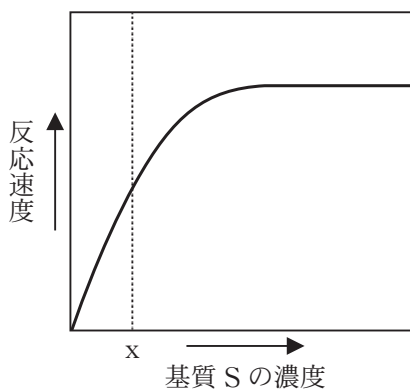


図 4

問 1 (ア)と(イ)にあてはまる適切な語句を答えよ。

問 2 下線部(1)を説明した次の文章の(ウ)にあてはまる適切な語句を答えよ。

化学反応が起こるときには、一時的にエネルギーの高い状態を経過する必要がある。このエネルギーの山を越えるのに必要なエネルギーを(ウ)というが、酵素のような触媒が存在すると、これが小さくなるために化学反応が起こりやすくなる。

問 3 下線部(2)に関連して、酵素の中には(ア)に基質が結合するために、タンパク質以外の低分子の有機物を補助因子として必要とするものもある。この補助因子は何と呼ばれるか答えよ。

問 4 図3において、一定時間後、生成物Pの量が増えなくなった理由を1行程度で説明せよ。

問 5 図3において、生成物Pの量が増えなくなる前に、生成物Pの増え方が少しずつ低下した理由を2行程度で説明せよ。

問 6 実験1で、加える酵素Eの量を2倍にし、その他は同じ条件で実験を行ったとき、図3の結果はどのように変わるか、解答用紙のグラフに実線で示せ。

問 7 実験1で、溶液に含まれる基質Sの量を2倍にし、その他は同じ条件で実験を行ったとき、図3の結果はどのように変わるか、解答用紙のグラフに実線で示せ。

問 8 酵素 E に対するある阻害剤 I は基質 S と構造が似ており、分子量 (6.02×10^{23} 個の分子のグラム数) と (ア) に対する結合力は基質 S と同じであるものとする。実験 2 で、濃度 x の阻害剤 I を加え、その他は同じ条件で実験を行ったとき、図 4 の結果はどのように変わるか、解答用紙のグラフに実線で示せ。

問 9 ホスホフルクトキナーゼは、一連の反応の最終生成物である ATP が十分量存在すると、ホスホフルクトキナーゼの反応速度が低下し ATP の合成速度も下がる。

- (a) 最終生成物が一連の反応の初期の段階にかかわる酵素の活性を阻害することで、最終生成物の生産量を調節するしくみを何と呼ぶか、答えよ。
- (b) ホスホフルクトキナーゼはアロステリック酵素である。アロステリック酵素の活性が変化するしくみを、ホスホフルクトキナーゼを例に 2 行程度で説明せよ。

問10 コハク酸脱水素酵素は、次の可逆反応(右向きの反応と左向きの反応の両方)を触媒する。



一定量のコハク酸脱水素酵素を、酵素濃度に対し十分高い濃度のコハク酸と FAD を含む適切な溶液に加えて反応を開始し、実験 1 と同様に、経時的にフマル酸の生成量を測定すると、図 3 に示すグラフと同様に、一定時間後、フマル酸の量は見かけ上増えなくなった。ただし、反応中にコハク酸脱水素酵素の活性の低下は起こらないものとする。

- (a) 一定時間後、フマル酸の量が見かけ上増えなくなった理由を 1 行程度で説明せよ。
- (b) この実験で、加えるコハク酸脱水素酵素の量を 2 倍にし、その他は同じ条件で経時的にフマル酸の生成量を測定すると、2 倍にする前と比べて結果はどのように変わるか、理由とともに 3 行程度で説明せよ。

問題 3 次の問 1 および問 2 に答えよ。(50 点)

問 1 有性生殖では、減数分裂と呼ばれる特別な分裂によって形成された 2 つの (ア) が合体することで新しい個体がつくられる。減数分裂は、第一分裂と第二分裂と呼ばれる 2 回の分裂からなり、1 つの母細胞から 4 つの娘細胞が形成される。第一分裂前期では、複製を終えた (イ) 染色体同士が平行に並んで対合し、(ウ) 染色体となる。したがって、(ウ) 染色体は (A) 本の染色体からできている。このとき、対合した染色体の間では、染色体の一部が交換される (エ) が起こる場合がある。

同じ染色体上にある 2 つの遺伝子は、減数分裂によって分配される際に、基本的には一緒に行動する。これを (オ) という。しかし、2 つの遺伝子間で染色体の (エ) が起こると、2 つの遺伝子が 2 本の染色体の間で入れかわる。これを遺伝子の組換えという。同じ染色体上にある遺伝子間では、一定の割合で組換えが起こることが多く、その頻度を組換え価という。組換え価の値は、同一の染色体にある遺伝子間の相対的な距離に比例しており、遺伝子間の距離が大きいと組換え価も大きくなる。

(a) (ア)～(オ)にあてはまる適切な語句を答えよ。

(b) (A)にあてはまる整数を答えよ。

(c) ある植物に 2 つの遺伝子座 (A 遺伝子座, B 遺伝子座) が存在するとする。

A 遺伝子座と B 遺伝子座には、大文字と小文字で表される 2 つの対立遺伝子 (A と a , B と b) が存在する。遺伝子型が $AABB$ の個体と $aabb$ の個体を交配し、雑種第一代をつくった。次に、雑種第一代同士を交配して雑種第二代をつくった。この交配実験について、以下の問に答えよ。

(i) A 遺伝子座と B 遺伝子座が独立している場合、雑種第二代の遺伝子型の比率を答えよ。なお、出現しない遺伝子型の比率は 0 と答えること。

(ii) A 遺伝子座と B 遺伝子座が同一染色体上に存在し、遺伝子間での組換えが起こらない場合、雑種第二代の遺伝子型の比率を答えよ。なお、出現しない遺伝子型の比率は 0 と答えること。

- (d) ある植物の同一染色体上に3つの遺伝子座(X 遺伝子座, Y 遺伝子座, Z 遺伝子座)が存在するとする。これらの遺伝子座には、大文字と小文字で表される2つの対立遺伝子(X と x , Y と y , Z と z)が存在する。遺伝子型が $XXYYZZ$ の個体と $xxyyzz$ の個体を交配し、雑種第一代をつくった。次に、雑種第一代に遺伝子型が $xxyyzz$ の個体を交配したところ、得られた1000個体の雑種第二代の遺伝子型は表1の通りであった。この交配実験について以下の問に答えよ。
- (i) 表1の結果をもとにして、 X - Y 間、 Y - Z 間および X - Z 間の組換え価(%)をそれぞれ求め、小数点第1位まで答えよ。また、求める過程も示せ。
- (ii) 染色体上の X 遺伝子座、 Y 遺伝子座および Z 遺伝子座の位置関係を、図5の染色体地図の(カ)~(ク)に示せ。
- (iii) 表1に示す雑種第二代の中で、二重に組換えが起こって生じた遺伝子型をもつ個体の数を答えよ。

表1 雑種第二代の遺伝子型と個体数

遺伝子型	個体数
$XxYyZz$	398
$XxYyzz$	59
$XxyyZz$	42
$Xxyyzz$	1
$xxYyZz$	2
$xxYyzz$	39
$xxyyZz$	63
$xxyyzz$	396

(カ) 遺伝子座 (キ) 遺伝子座 (ク) 遺伝子座



図5 染色体地図

問 2 被子植物の花では、おしべの葯やくの中で花粉母細胞が減数分裂を行って4つの花粉四分子となる。花粉四分子は不均等分裂によって雄原細胞と花粉管細胞を生じ、その後、成熟した花粉となる。一方、めしべの子房の中の胚珠では、減数分裂によってできた4個の細胞のうち3個が退化し、残った1個が核分裂を行って胚のうとなる。めしべの柱頭に受粉した花粉は花粉管を伸ばして胚のう内に侵入する。花粉管内で雄原細胞が分裂して生じた2個の精細胞のうち、1つは卵細胞と受精して受精卵となり、もう1つは中央細胞と融合して胚乳細胞を形成する。このように精細胞と卵細胞の受精に加え、精細胞と中央細胞との融合が同時に並行して起きる現象を(ケ)という。多くの被子植物では、1つの花の中におしべとめしべが共存するため、自家受精を行うことが可能である。

その後、受精卵は分裂を繰り返して胚になり、胚乳細胞は栄養分を蓄えて胚乳となる。そして、種皮が胚と胚乳を包むことで種子が形成される。種子は発芽できる環境が整うまで休眠状態となる。

- (a) (ケ)にあてはまる適切な語句を答えよ。
- (b) 体細胞の核相が $2n$ の被子植物の場合、下線部(1)～下線部(5)のそれぞれの細胞の核相を答えよ。
- (c) 下線部(6)に関連して、種の生存の観点から、自家受精の有利な点と不利な点について、それぞれ1行程度で述べよ。
- (d) 下線部(7)に関連して、ソラマメなどの種子では胚乳が退化しているが、このような種子の名称を答えよ。また、この種子が胚乳の代わりに栄養分を蓄える器官名を答えよ。
- (e) 下線部(8)に関連して、種子を種皮で包むことの利点を1行程度で述べよ。
- (f) 下線部(9)に関連して、種子には温度や水分の条件が適当であっても、光が照射されないと発芽しないものがある。
- (i) このような種子の名称を答えよ。
- (ii) このような種子の発芽を促進する光を次の選択肢①～③の中からすべて選び、記号で答えよ。

[選択肢]

- ① 赤色光 ② 遠赤色光 ③ 白色光

- (iii) このような種子の性質は発芽後の植物の生活においてどのような利点があると考えられるか，1行程度で答えよ。

問題 4 次の問1 および問2に答えよ。(50点)

問1 骨格筋は、筋繊維(筋細胞)と呼ばれる細長い細胞が束状に集まったもので、この細胞の中には収縮性のある多数の筋原繊維が存在する。骨格筋の筋原繊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が交互に配列しており、明暗の規則的な縞模様が見られることから(ア)筋とも呼ばれる。明帯の中央には(イ)⁽¹⁾という仕切り構造があり、この仕切り構造と仕切り構造の間を(ウ)という。筋原繊維は、太いフィラメントである(エ)フィラメントと細いフィラメントである(オ)フィラメントから構成されている。

骨格筋の収縮は、運動ニューロンによって制御されている。運動ニューロンは、その末端で筋肉の細胞である筋繊維との間に、シナプスである(カ)部を形成している。私たちが手足を動かしたり歩いたりするときの骨格筋の収縮は、運動神経から毎秒数十回の刺激を受けることによって起こる(キ)という収縮である。神経刺激により筋繊維の細胞膜に興奮が生じ、さらにはその興奮が細胞内に伝えられると、細胞質基質の Ca^{2+} 濃度が上昇する。次に、 Ca^{2+} が(ク)⁽²⁾というタンパク質と結合すると、それがきっかけとなって上記の細いフィラメント上の(ケ)⁽³⁾というタンパク質の構造が変化し、細いフィラメントと太いフィラメントが相互作用できるようになり、ATPをエネルギー源とした筋収縮が起こる。

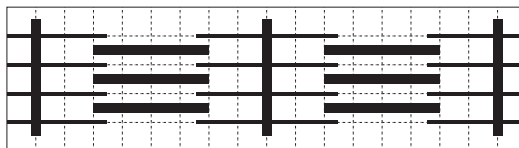


図6

- (a) (ア)～(ケ)にあてはまる適切な語句を答えよ。
- (b) 下線部(1)について、このような縞模様をもたない筋細胞の名称を答えよ。
また、縞模様をもたない筋細胞からなる組織を主な構成要素とする臓器の例を1つ挙げよ。

- (c) 下線部(2)について、筋繊維の興奮が終わったあと、細胞質基質に放出された Ca^{2+} を取り込む主な細胞小器官の名称を答えよ。
- (d) 下線部(3)に関連して、図 6 は弛緩した骨格筋を模式的に示したものである。筋原繊維が弛緩時の 4 分の 3 の長さに収縮した場合、どのような模式図になるか、解答欄に描け。また、明帯および暗帯がどこにあたるかを図中に示せ。

問 2 次の実験 1 および実験 2 は、筋収縮のエネルギー源について調べたものである。これに関連して、以下の問に答えよ。ただし、筋収縮に直接使われるエネルギーは、すべて ATP により供給されるものとする。また、1 モルとは、 6.02×10^{23} 個の分子を含む量をさす。

実験 1 カエルから骨格筋である腹直筋を取り出し、無酸素下で 1 回の電気刺激により筋収縮を行わせ、収縮前後で乳酸、ATP、クレアチンリン酸の含有量を測定した。結果は表 2 のようになった。

表 2 1 回の電気刺激による収縮に伴う含有量の変化

	乳酸	ATP	クレアチンリン酸
収縮前	1.3	1.25	20.60
収縮後	1.3	1.25	20.02

単位： 10^{-6} モル／グラム生重量

実験 2 実験 1 と同様にカエルの腹直筋を用いて、無酸素下で 30 回／秒の高頻度電気刺激により一定時間収縮させ、収縮前後の乳酸とクレアチンリン酸の含有量を測定した。別のカエルの腹直筋は化学物質 X で処理し、同様に収縮前後の含有量を測定した。なお、化学物質 X 処理後も収縮に異常はなかった。結果は表 3 のようになった。

表 3 高頻度電気刺激による収縮に伴う含有量の変化

		乳酸	クレアチンリン酸
無処理	収縮前	1.3	20.60
	収縮後	4.4	16.60
化学物質 X 処理後	収縮前	1.3	20.60
	収縮後	1.3	0

単位： 10^{-6} モル／グラム生重量

- (a) 実験 1 において、筋収縮に使われた ATP はどのように供給されたか、2 行程度で説明せよ。
- (b) 実験 2 において、筋収縮に使われた ATP はどのように供給されたか、それぞれ 2 行程度で説明せよ。
- (i) 無処理の場合
- (ii) 化学物質 X 処理後の場合
- (c) 実験 2 において、化学物質 X の作用として、どのようなものが考えられるか、10 字以内で答えよ。

