

受験番号

自然科学

問題冊子

指 示

合図があるまでは絶対に中を開けないこと

1. この試験は、資料を読んで、あなたがその内容をどの程度理解し、分析し、また総合的に判断することができるかを調べるためのものです。
2. この冊子には、数学、物理、化学、生物の4分野の問題がこの順序で掲載されています。その中から2分野を選んで解答して下さい。
3. 配点は各分野とも40点満点で、2分野の合計で**80点満点**です。
4. 解答のための時間は、「解答はじめ」の合図があってから正味**80分**です。
5. 使用する解答欄は、問題の前に指示してあります。解答欄は、多肢選択マークセンス方式のほか、一部に記述方式が含まれます。
6. 選んだ分野と答えは、解答カードの定められたところに指示どおりに鉛筆を用いて書き入れて下さい。一度書いた答えを訂正するには、消しゴムできれいに消してから、あらためて正しい答えを書いて下さい。
7. メモにはこの冊子の余白を用い、ほかの紙は使用しないで下さい。
8. 「解答やめ」の合図があったら、ただちにやめて下さい。試験監督が問題冊子と解答カードを集め終わるまでは、退室できません。
9. この指示について質問があるときは、試験監督に聞いて下さい。ただし、問題の内容に関する質問はいっさい受けません。
10. **解答上の注意**が、裏表紙に記載してあるので、この問題冊子を裏返して必ず読んで下さい。ただし、問題冊子を開いてはいけません。

「受験番号」を解答カードの定められたところに忘れずに書き入れること

(余 白)

目 次

数 学	2
物 理	8
化 学	20
生 物	32

数 学

PART I, PART II の問題があります。マークセンス方式の解答欄ア～トを使って解答しなさい。

PART I

実数 x に対して、 x を超えない整数のうち、もっとも大きなものを $[x]$ で表すことにする。例えば、 $[2] = 2$, $[3.1] = 3$, $[-1] = -1$ である。一方、 $[-1.2]$ は -1 ではなく、 -2 であることに注意しよう。ここでは、 $[x]$ などを含む方程式について考えてみよう。例えば、方程式 $[x] = 3$ の解は $3 \leq x < 3 + 1 = 4$ である。

1. 方程式 $\frac{[x]}{2} = 1$ の解は $\boxed{\text{ア}} \leq x < \boxed{\text{ア}} + 1$ である。
2. 方程式 $[5x] = 2$ の解は $\frac{\boxed{\text{イ}}}{\boxed{\text{ウ}}} \leq x < \frac{\boxed{\text{イ}} + 1}{\boxed{\text{ウ}}}$ である。
3. ある実数 a に対して、方程式 $[ax] = 3$ の解が $\frac{3}{7} \leq x < \frac{4}{7}$ であるとき、 $a = \boxed{\text{エ}}$ である。
4. 方程式 $[x^2] = 0$ の解は $-\boxed{\text{オ}} < x < \boxed{\text{オ}}$ である。

(このページは空白です.)

5. 方程式 $\left[\frac{x(x-1)}{2}\right] = 0$ の解は $-\square{\text{カ}} < x \leq \square{\text{キ}}, \square{\text{カ}} \leq x < \square{\text{ク}}$ である.

6. ある正の実数 b, c に対して, 条件 $\left[\frac{(x-b)(x+b)}{c^2}\right] = 0$ と条件 $1 \leq |x| < \sqrt{5}$ が同値であるとき, $b = \square{\text{ケ}}, c = \square{\text{コ}}$ である.

7. 方程式 $\left[\frac{x^2}{2}\right] = x$ の解について, 正しいものは次のどれか, 解答欄 $\square{\text{サ}}$ に記せ.

- a. 方程式の解はない.
- b. 方程式はただ1つの解をもつ.
- c. 方程式はちょうど2つの解をもつ.
- d. 方程式は無数の解をもつ.

(このページは空白です.)

PART II

ギリシア数学者であるパプスは4世紀ごろに活躍し、その後の数学に少なくない影響を及ぼした。彼の数多くの業績の中から、ここでは回転体に着目してみる。

8. 座標平面上で、点 (x, y) と点 (X, Y) が、直線 $y = 3$ を軸として線対称であるとき、 $x = X$, $y = \boxed{\text{シ}} - Y$ である。

関数 $y = 2x^2 + 1$ のグラフを曲線 C_1 とする。

9. 曲線 C_1 を直線 $y = 3$ に関して対称移動したグラフを曲線 C_2 とすると、 C_2 を表す関数は、 $y = -\boxed{\text{ス}}x^2 + \boxed{\text{セ}}$ である。

10. 曲線 C_1 と曲線 C_2 の交点は点 $(\boxed{\text{ソ}}, \boxed{\text{タ}})$ と点 $(-\boxed{\text{ソ}}, \boxed{\text{タ}})$ である。

11. 曲線 C_1 と曲線 C_2 で囲まれた図形を S とすると、 S の面積は $\frac{\boxed{\text{チツ}}}{\boxed{\text{テ}}}$ である。

12. 点 $G(0, 3)$ を x 軸の周りに1回転させてできる曲線 L の長さは $\boxed{\text{ト}}\pi$ である。

図形 S を x 軸の周りに1回転させてできる立体を V とする。実は、点 G は図形 S の重心であり、 $(V \text{ の体積}) = (S \text{ の面積}) \times (L \text{ の長さ})$ が成立している。この関係式は一般に成立し、パプス・ギュルダン (Pappus-Guldin) の定理として知られている。

(このページは空白です.)

物 理

PART I, PART II の問題があります。マークセンス方式の解答欄ア～サおよび記述方式の解答欄 A, B を使って解答しなさい。

PART I

ハンマー投げ

陸上競技の中でもダイナミックな種目として、ハンマー投げ・やり投げ・砲丸投げ・円盤投げなどのいわゆる「投てき種目」が挙げられる。ここでは少しハンマー投げについて考えてみよう。

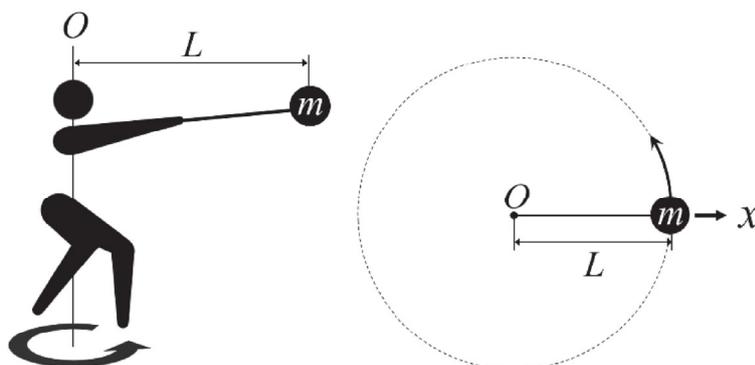
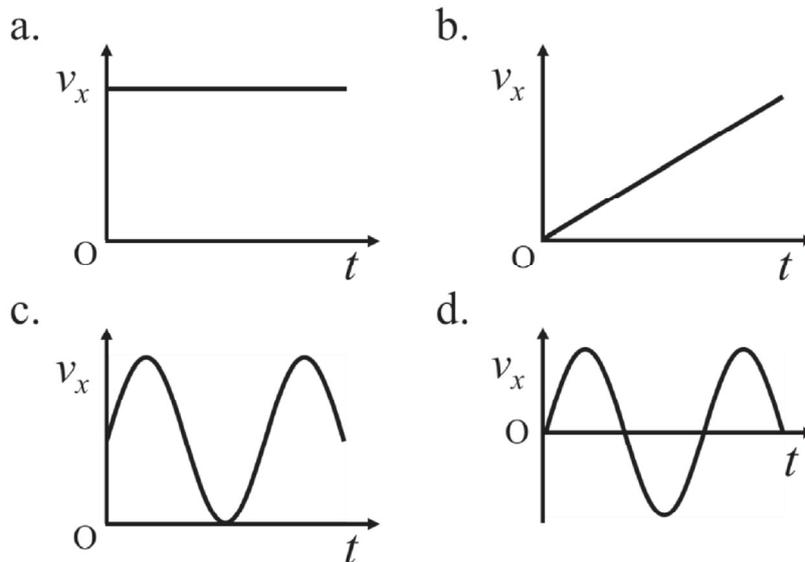


図 1 ハンマー投げの様子 (左) と、その概念図 (右)。

図 1 の左は競技の様子を表し、右はその運動をモデル化した概念図である。ハンマーは球とワイヤーで構成されており、球は地面に対して水平な面において回転軸 O を中心に半径 L で等速円運動をしている。球の質量は $m = 7.5 \text{ kg}$ であり、 L は (腕の長さ) + (ワイヤーの長さ) = 2.0 m とする。これ以降、全ての問題においてワイヤーの質量と空気抵抗は無視できるものとする。

- 1周/秒でハンマーが回転しているとき、球の速さ v として次のうちからもっとも近いものを選び、解答欄 に記せ。
 - a. $v = 3.1 \text{ m/s}$
 - b. $v = 6.3 \text{ m/s}$
 - c. $v = 13 \text{ m/s}$
 - d. $v = 25 \text{ m/s}$

2. 等速円運動をしている球の速度の x 成分 v_x に関するグラフで正しいものはどれか, 次のうちからもっとも適切なものを選び, 解答欄 に記せ.



3. 速さ $v=30$ m/s で質量 $m=7.5$ kg の球が, 半径 $L=2.0$ m の円周上を等速円運動しているときの遠心力 F について, 次のうちからもっとも近いものを選び, 解答欄 に記せ.

- a. $F=1100$ N
- b. $F=2300$ N
- c. $F=3400$ N
- d. $F=4500$ N

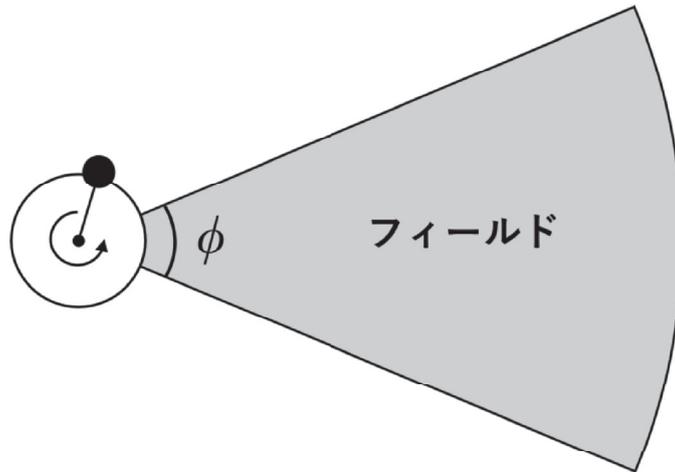


図2 ハンマー投げの競技フィールド

図2はハンマー投げの競技を上空から見た概要図である。選手は投げる位置から広がる角度 ϕ のおうぎ形のフィールド内にハンマーを投げなくてはならない。選手は回転しながらハンマーがフィールド内に飛ぶようにハンマーを放す。

4. ハンマーの回転速度が2周/秒のとき、 $\phi=36^\circ$ のフィールド内にハンマーを投げるには、どの程度の時間の範囲内にハンマーから手を放す必要があるか。次のうちからもっとも近いものを選び、解答欄 に記せ。

- a. 0.013 s
- b. 0.025 s
- c. 0.050 s
- d. 0.100 s

今までは人を軸とした場合の簡単なハンマーの円運動を考えたが、現実のハンマー投げの状況は少し複雑である。より現実的には、図3のように質量 M の選手と質量 m の球の重心位置 O' が回転軸となる。

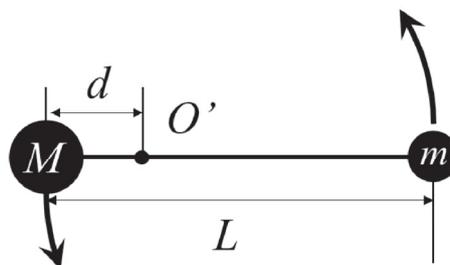


図3 ハンマー投げの重心の位置と回転運動

5. 球の質量 $m = 7.5 \text{ kg}$, 選手の質量 $M = 92.5 \text{ kg}$, $L = 2.0 \text{ m}$ の場合, 選手の重心から回転軸 O' までの距離 d はいくらか. 次のうちからもっとも近いものを選び, 解答欄 に記せ.

- a. $d = 1.5 \text{ cm}$
- b. $d = 7.5 \text{ cm}$
- c. $d = 15 \text{ cm}$
- d. $d = 30 \text{ cm}$

実際の投てきでは, 選手は通常図 1 よりも後ろ向きに傾きながら回転するため, 選手の重心は回転軸 (軸足) よりも後方になる. 選手の位置を示す黒丸は実際には選手の重心を表し回転軸 O からずれる. しかし全体の重心を回転軸とした, このような配置を保つと選手および球は滑らかに安定的に回転運動を行うことができる.

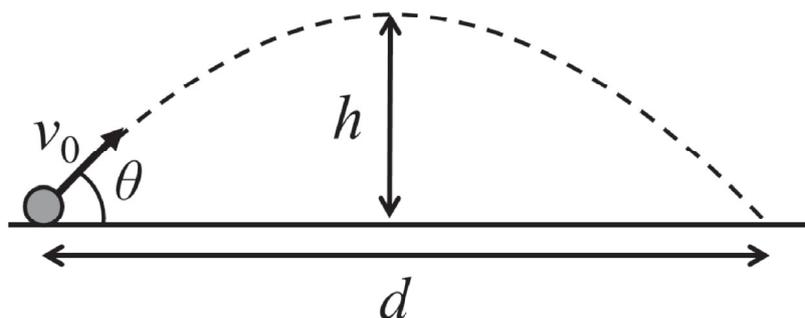


図 4 放された後のハンマーの軌道

ハンマー投げでは回転運動の軸を徐々に傾けていってからハンマーが放される. 図 4 はハンマーが放された後の軌道を表している. ここではハンマーを質点と考える. ハンマーが放された高さを 0 m とし, ハンマーの初速は $v_0 = 25 \text{ m/s}$, とびだす角度は水平方向から測って $\theta = 45^\circ$ である.

6. ハンマーの最高点の高さ h をもとめ, 次のうちからもっとも近いものを選び, 解答欄 に記せ. なお, 重力加速度の値は $g = 10 \text{ m/s}^2$ とする.

- a. $h = 16 \text{ m}$
- b. $h = 23 \text{ m}$
- c. $h = 27 \text{ m}$
- d. $h = 32 \text{ m}$

投げられたハンマーが最高点で高さ h に達したとき，図 5(a)に示すように割れてしまった．もともとハンマーが不良品であり球の中の気泡により割れたようだ．破片の一方は図 5(b)のように距離 $D = 100\text{ m}$ 飛んだ．

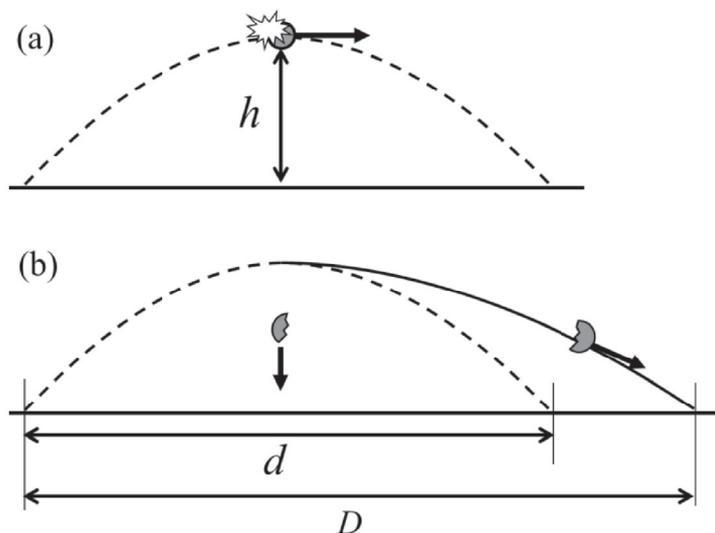


図 5 割れた球とその後の運動

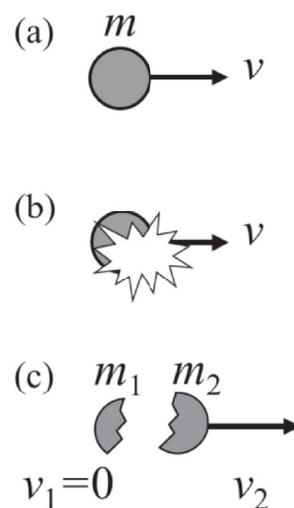


図 6 球の割れた詳細

図 5(a)の球が割れた詳細を図 6 で見てみよう．高さ h で速度 v をもった質量 m の球は，内部の気泡の圧力で質量 m_1 と m_2 の破片に分かれた．うしろの破片はそのまま真下に落下し，前の破片は速度 v_2 （水平方向）で飛んでいったとする．

7. 割れた破片の質量は各々，

$$m_1 = \frac{1}{3}m, \quad m_2 = \frac{2}{3}m$$

であった．水平方向に飛んでいった破片の速度 v_2 を割れる前の速度 v を用いて，記述解答欄 に記せ．

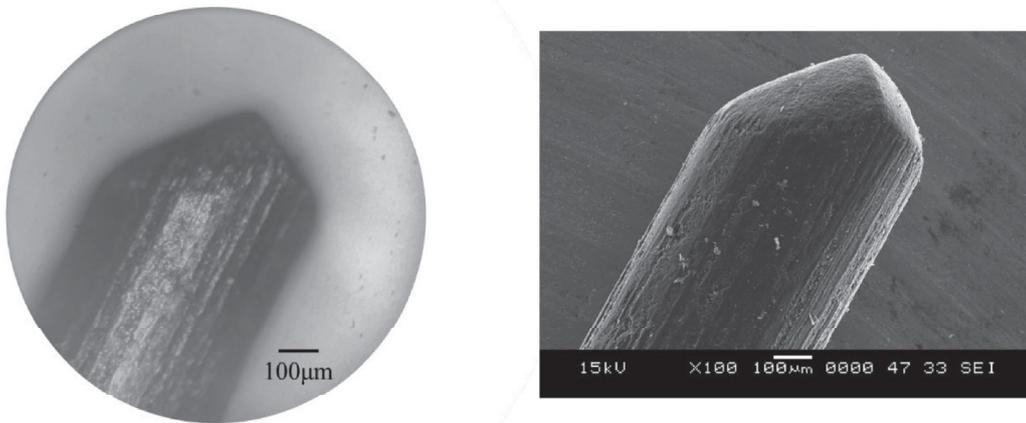
8. 削除

(このページは空白です.)

PART II

走査型電子顕微鏡

物質表面の超微細な構造はもちろん、赤血球や細菌の細部観察など、様々な科学研究において顕微鏡は重要な役割をもっている。皆さんも物質の観察に光学顕微鏡を使ったことがあると思う。光学顕微鏡は、物質から反射した光をレンズによって集光し像を結ばせることで、図 7(a)のように物質の表面状態を拡大して観測する。これに対し、走査型電子顕微鏡では光の代わりに電子を用いる。入射電子によって物質表面から出てくる二次電子を検出することで、図 7(b)のような像が得られる。照射する“光源”の波長が短いため、最大倍率は光学顕微鏡の場合に千倍程度であるのに対し、走査型電子顕微鏡では十万倍程度になる。これは電子顕微鏡の分解能（近い二点が識別できる能力）がより高いことを意味している。また図からわかるように、走査型電子顕微鏡では物質表面に凹凸があっても、観察画面全域にわたってピントが合っている像を得やすい。これら走査型電子顕微鏡の優れた性能は、通常目に見えない電子を用いた“科学者の眼”として利用されている。



(a) 光学顕微鏡による観察

(b) 走査型電子顕微鏡による観察

図 7 シャープペンシルの芯

次に色の再現性について考えてみる。光学顕微鏡では白色光を光源として用いるため、観察したい物質の色を識別することができる。これは、「赤い絵具が赤く見えるのは、物質に照射された光のうち赤い波長以外は吸収され、反射した光が赤いため」である。これに対して、一般的に走査型電子顕微鏡では色を識別することはできない。

9. 光学顕微鏡に関する以下の記述のうち、正しいものはいくつあるか解答欄 に記せ.

- 青い単色光を利用すれば、赤い単色光を利用する場合と比べ、より分解能の高い画像が得られる.
- 照射する単色光を明るくすればするほど、分解能は高くなる.
- 色を再現するためには、単色光を照射することが必要である.
- 大気中で使用することにより、色の再現が可能になる.

ここからは、走査型電子顕微鏡の動作原理について考えてみる. 旧来の電子顕微鏡ではフィラメントとよばれる細い金属ワイヤーに電流を流し電子を発生させる. 電流が流れた金属はジュール熱を発生し、この熱により金属中の電子が外に飛び出す. この現象を熱電子放出とよぶ. ジュール熱が大きいほど電子の放出量は増えていくが、金属中の熱は同時にフィラメントを劣化させるため、フィラメントに用いる最適な金属の条件として、電子が飛び出すために必要なエネルギーが小さいことに加え、電流による温度上昇が金属自体の融点を超えないことが重要となる.

10. 削除

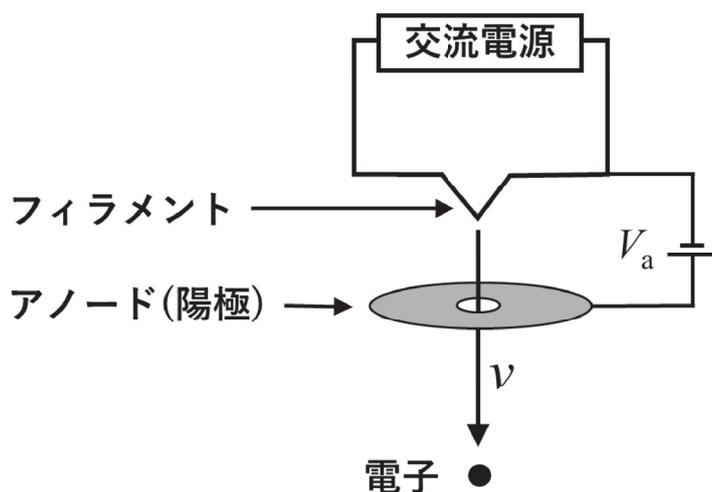


図8 電子の放出と加速

次に放出された電子を、アノード（陽極）に印加された電圧 V_a により速度 v まで加速し（図8）、サンプル表面にぶつける過程について考える。一般的に導体のサンプルでは、入射した電子は内部にとどまらずサンプルから流れ出るので鮮明な画像を得ることができる。しかし不導体のサンプルでは、入射した電子がサンプル内部に蓄積され、結果的に像が白くにじみ鮮明に見えなくなる。この現象は「チャージングアップ」とよばれ、電子顕微鏡の原理から生じる一つの弱点とされている。

11. アノード電圧 V_a およびフィラメント電流に関する以下の記述のうち、正しいものはいくつあるか解答欄 に記せ。

- 電圧 V_a を大きくすれば、電子の速度 v は大きくなる。
- 電圧 V_a の極性を反転させると画像の白黒は反転する。
- フィラメントの電流を下げると、電子は加速しやすくなる。
- 導電性の高いサンプルを観察する場合に比べて、導電性の低いサンプルを観察する場合は、フィラメントに流す電流は小さいことが望ましい。

12. アノード電圧 $V_a = 1.5 \text{ V}$ で加速された電子のド・ブロイ波長 λ としてもっとも近いものは次のうちどれか，解答欄 に記せ．なお，プランク定数 $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ ，電子質量 $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ，電気素量 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ とする．

- a. $\lambda = 1 \text{ mm}$ (10^{-3} m)
- b. $\lambda = 1 \text{ }\mu\text{m}$ (10^{-6} m)
- c. $\lambda = 1 \text{ nm}$ (10^{-9} m)
- d. $\lambda = 1 \text{ pm}$ (10^{-12} m)

この結果から分かるように，光学顕微鏡では物質表面に照射する光の波長程度の分解能しか得られないのに対して，より短い波長をもつ電子を利用した電子顕微鏡では高い分解能が得られることがわかる．

さて，ここでは走査型電子顕微鏡における電子の制御方法に注目する．外部から生成された電場の中に電荷をもった粒子がいるとき，その粒子は

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

の力を受ける．このとき \vec{F} は粒子の受ける力， q は粒子の電荷， \vec{E} は電場である．この電場で作られる力を用いて，フィラメントから放出された電子の飛ぶ方向を制御できる．図 9 を見てみよう．走査型電子顕微鏡では，電子線を観測したいサンプルの表面に当て，その位置を観察画面の左上から右に走査する．一列終了すると列を変えて次々と走査を行い，最終的に右下まで順次電子を当てていく．

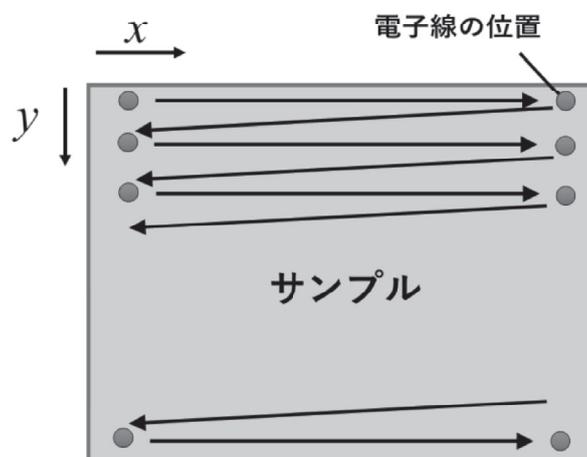


図 9 サンプル上の電子の走査方法

電子線の走査については、簡単のためにここでは x 方向の走査のみを考えることにして、以下のような回路を考える。図 10 のように、走査用回路は平板コンデンサと同じ形状になっており、ここでは電極に印加する電圧 V_x によって電子の制御を行う。可変電圧の記号を見たことがない人もいると思うが、時間とともにプラスマイナス両方の方向に、自由に電圧を変えられる電圧源と考えてもらってよい。

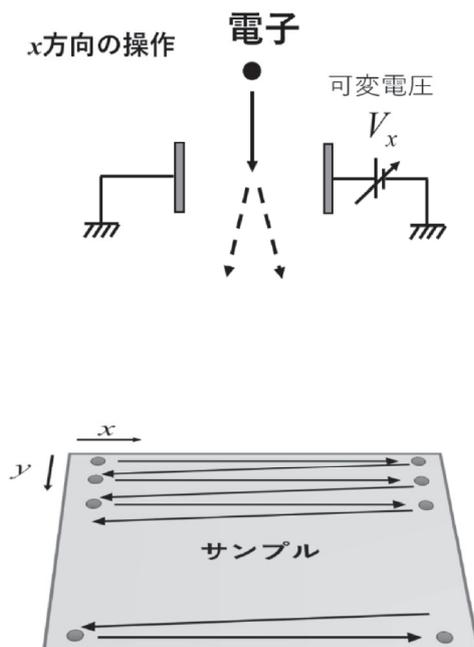
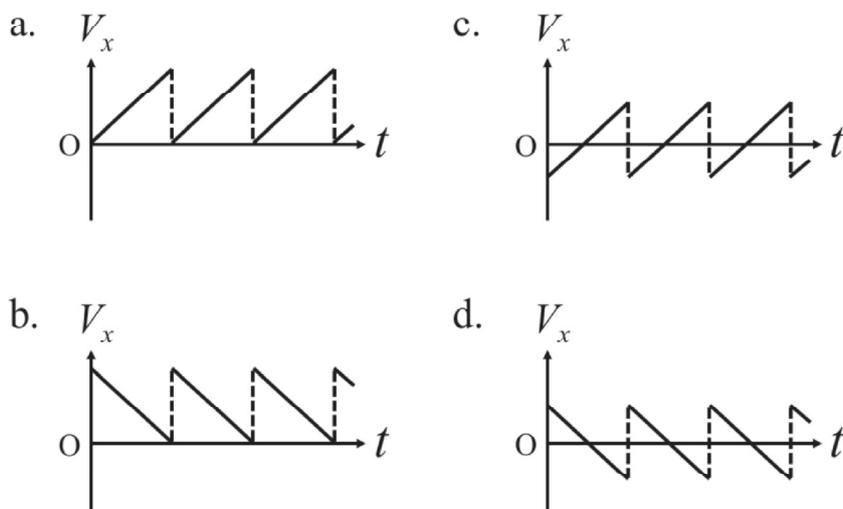


図 10 電子の x 方向の操作

13. サンプルの左上から走査を始めたとし、印加する電圧 V_x として正しいものは次のうちのどれか、もっとも適切なものを選び解答欄 に記せ。



(このページは空白です.)

化 学

PART I ～ PART III の問題があります。マークセンス方式の解答欄ア～タ
および記述方式の解答欄 A, B を使って解答しなさい。

必要であれば次のデータを用いなさい。

原子量 水素：1, 炭素：12, 窒素：14, 酸素：16

PART I

アルコールについて

2020 年, 世界中に新型コロナウイルス感染症によるパンデミックが引き起こされ, 私たちの生活スタイルは一変した。私たちはマスクを着用することが欠かせなくなり, 手指をアルコールで消毒することが習慣となった。ここでは, いろいろなアルコールに注目してみよう。

今日, 幅広い用途に合わせて多種多様なアルコール製剤が販売されている。殺菌・消毒用のアルコールとしては, エタノールやイソプロピルアルコール (2-プロパノール) が主に利用されている。アルコール類の炭素鎖長が長くなり, (あ) が強くなるほど, アルコール類の殺菌効果は強くなるが, 炭素鎖長が 10 以上になると, (い) が減少し, その効果は急速に減少する。アルコール類としてもっとも広く使われているのはエタノールだが, その殺菌効果は重量パーセント濃度で 40% を超すあたりから急激に現れ, 70% で最大となる。このとき溶液中のエタノール分子は (う) 結合により, ポリマーのような構造を形成し, さらに水分子と会合することによって大きな (あ) 表面をもつクラスターを形成する。ここで, クラスターとは, 分子や原子が数個から数千個集まったものを指す。このクラスター構造が, 殺菌力と強く関係すると考えられている。水とエタノールの分子数の比が 1 : (え), 重量パーセント濃度の比が 3 : 7 の溶液でこのクラスター構造がもっとも効率よく形成できることが, この濃度で殺菌力が最大となる理由と考えられる。(*1)

(*1) 人見 潤 “アルコールと殺菌の話” 花王ハイジーン ソリューション No.8 (2005)
より改編

1. 文中の（あ）および（い）に当てはまる語句の組み合わせとして適切なものを以下の中から選び、解答欄 に記せ.

- a. （あ）疎水性 （い）潮解性
- b. （あ）疎水性 （い）水への溶解性
- c. （あ）親水性 （い）潮解性
- d. （あ）親水性 （い）水への溶解性

2. 文中の（う）および（え）に当てはまる語句、数字の組み合わせとして適切なものを以下の中から選び、解答欄 に記せ. ここでエタノールの分子量は46とする.

- a. （う）水素 （え）1
- b. （う）水素 （え）2
- c. （う）共有 （え）1
- d. （う）共有 （え）2

3. エタノールの化学的性質について記した以下の選択肢のうち、正しいものを選び、解答欄 に記せ.

- a. エタノールにヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を反応させるとヨードホルムの白色沈殿を生じる.
- b. エタノールに金属ナトリウムを加えると、水素を発生し、ナトリウムエトキシドが生じる.
- c. アルコール飲料に含まれるエタノールが体内で酵素によって酸化されると、ホルムアルデヒドを生じる.
- d. エタノールに濃硫酸を加え、170 °Cに加熱すると、脱水縮合反応を起こし、ジエチルエーテルを生じる.

4. アルコールは様々な医薬品や生活用品の原材料としても用いられている。以下のうち、一般的にアルコールを原料として用いていないものを選び、解答欄 に記せ。
- a. ニトログリセリン
 - b. 硫酸アルキルナトリウム
 - c. アセチルサリチル酸
 - d. ポリエチレンテレフタレート
5. 分子式 $C_3H_8O_3$ 、分子量 92 のアルコールを 1.000 g とり、過剰の酢酸中で反応させてエステルを合成したところ、0.586 g の水が生成した。ここで、アルコールは残っていなかったとする。この結果から、このアルコール1分子に含まれるヒドロキシ基の数を推定し、その数を解答欄 に記せ。

(このページは空白です.)

PART II

鶏卵の実験

皆さんは鶏卵を酢に浸すという実験をしたことがあるだろうか。この実験によっていくつかの化学的な現象を観察することができる。ここでは食酢のかわりに、より酢酸含有量の多い、20%の酢酸水溶液を用いてみよう。質量が62 gの鶏卵を2つ用意した。この鶏卵を20%の酢酸水溶液に室温で1日ほど浸すと、卵殻は溶けてほとんど除去できた。この際に、卵殻の表面から細かい気泡が発生し、その気泡が液の表面に溜まった(図1)。卵殻の主成分である(お)が酢酸水溶液と反応して二酸化炭素を発生したのである。なお、(お)を強熱すると(か)が得られることもよく知られている。

卵殻を除去した鶏卵をよく水洗いして表面に残っていた卵殻を完全に取り除くと、卵殻膜に覆われただけの鶏卵が得られた。この時点で、卵殻膜に覆われた鶏卵は大きくなっていた。また、質量はともに67 gとなり、酢酸水溶液に浸す前より5 g増えていた。このことから、卵殻膜は(き)膜でできているため、(く)現象によって、鶏卵の中に水が移動したと考えられる。

続いて、これら卵殻を除去したそれぞれの鶏卵を、(i) 一方は水に浸し、(ii) 他方はショ糖の飽和水溶液に室温で2時間浸し、質量を計測する実験を行った。

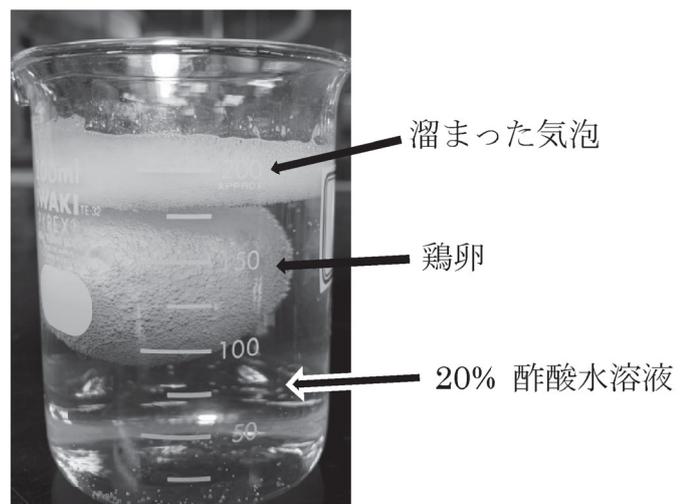


図1 酢酸水溶液に浸した鶏卵

6. 文中の（お）および（か）に当てはまる化合物名として適切なものの組み合わせを以下の中から選び、解答欄 に記せ.

- | | |
|-----------------|--------------|
| a. （お）炭酸水素カルシウム | （か）酸化カルシウム |
| b. （お）炭酸水素カルシウム | （か）炭酸カルシウム |
| c. （お）炭酸カルシウム | （か）炭酸水素カルシウム |
| d. （お）炭酸カルシウム | （か）酸化カルシウム |

7. 文中の（き）および（く）に入る語句として適切なものを記述解答欄 , に記せ.

8. 削除

PART III

理想気体と実在気体

「気体分子は、熱運動によって飛びまわっており、他の分子や容器に衝突している。このとき、分子が器壁に衝突して単位面積あたりに加えている力を、気体の圧力という。」(*2)

したがって、気体の圧力は、気体分子の速さと質量、および、単位時間に壁に衝突する気体分子の数に比例する(図2)。ここでは、思考実験として、容器の中のすべての分子は同じ速さで運動しており、互いに衝突しないものとする。

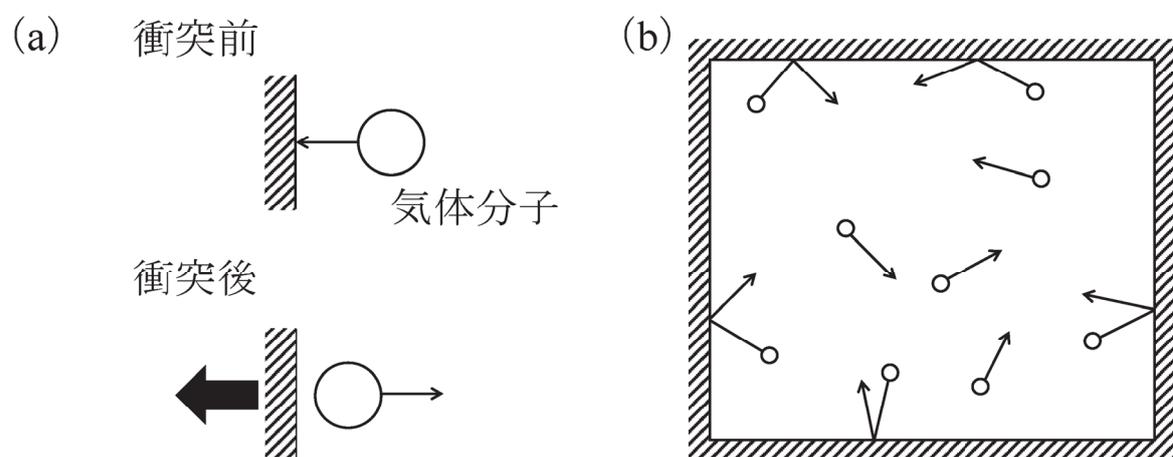


図2 気体の圧力 (a) 一分子のモデル, (b) 多分子のモデル

(*2) 山内 薫ら “高等学校 改訂 化学” 第一学習社 (2018)

次の問い 9 および 10 に答えよ。ここで、初期状態は、ある容器に気体分子 A を封入したものとし、以下の操作をしても、容器の体積は変わらないものとする。

9. 封入する気体分子 A の数を 2 倍にした。圧力が受ける影響としてもっとも近いのは次のうちどれか。解答欄 に記せ。ただし、気体分子 A の速さは初期状態と変わらないものとする。
- a. 初期状態に比べ、圧力は半分になる。
 - b. 初期状態に比べ、圧力は変わらない。
 - c. 初期状態に比べ、圧力は 2 倍になる。
 - d. 初期状態に比べ、圧力は 4 倍になる。
10. 初期状態の気体分子 A の代わりに、分子量が 2 倍の気体分子 B を封入した。圧力が受ける影響としてもっとも近いのは次のうちどれか。解答欄 に記せ。ただし、気体分子 B の速さは、初期状態の気体分子 A と同じ速さであるものとする。
- a. 初期状態に比べ、圧力は半分になる。
 - b. 初期状態に比べ、圧力は変わらない。
 - c. 初期状態に比べ、圧力は 2 倍になる。
 - d. 初期状態に比べ、圧力は 4 倍になる。

理想気体の場合には、圧力 P 、体積 V 、物質量 n 、温度 T の間に、次のような関係が成り立ち、気体の状態方程式とよばれる。

$$PV = nRT \quad (\text{式 1})$$

ここで、 R は気体定数である。

11. 容器中の温度を、 $25\text{ }^\circ\text{C}$ から $77\text{ }^\circ\text{C}$ まで上げたときの圧力変化としてもっとも近いものを次から選び、解答欄 に記せ。ここで、容器の体積は初期状態と変わらないものとする。
- a. 初期状態に比べ、圧力は 0.3 倍になる。
 - b. 初期状態に比べ、圧力は 0.9 倍になる。
 - c. 初期状態に比べ、圧力は 1.2 倍になる。
 - d. 初期状態に比べ、圧力は 3 倍になる。

実在気体は厳密には気体の状態方程式 (式 1) に従わない。分子自身に大きさがあり、分子間に働く力 (分子間力) があるため、理想気体からのずれが生じるからである。そのずれは、 Z (圧縮率因子) で表される。

$$Z = \frac{PV}{nRT} \quad (\text{式 2})$$

同じ温度・圧力下で 1 mol の気体を考えると、この式は実在気体の体積 ($V_{\text{実}}$) と理想気体の体積 ($V_{\text{理}}$) の比較として表すことができる。

$$Z = \frac{V_{\text{実}}}{V_{\text{理}}} \quad (\text{式 3})$$

$Z > 1$ では、実在気体の体積が理想気体より大きいことを表し、 $Z < 1$ では、実在気体の体積が理想気体より小さいことを表す。

温度が一定のときに圧力を変化させると、体積が変化するので、それぞれの圧力における Z の値を計算できる。図 3 は、温度一定のまま 1 mol の気体 A, B, C の圧力を変化させ、体積を測定したときの Z の値と圧力の関係を表している。（*3, *4）ただし、ここでは、気体 A, B, C はいずれも、 $800 \times 10^5 \text{ Pa}$ において気体の状態を保っているものとする。

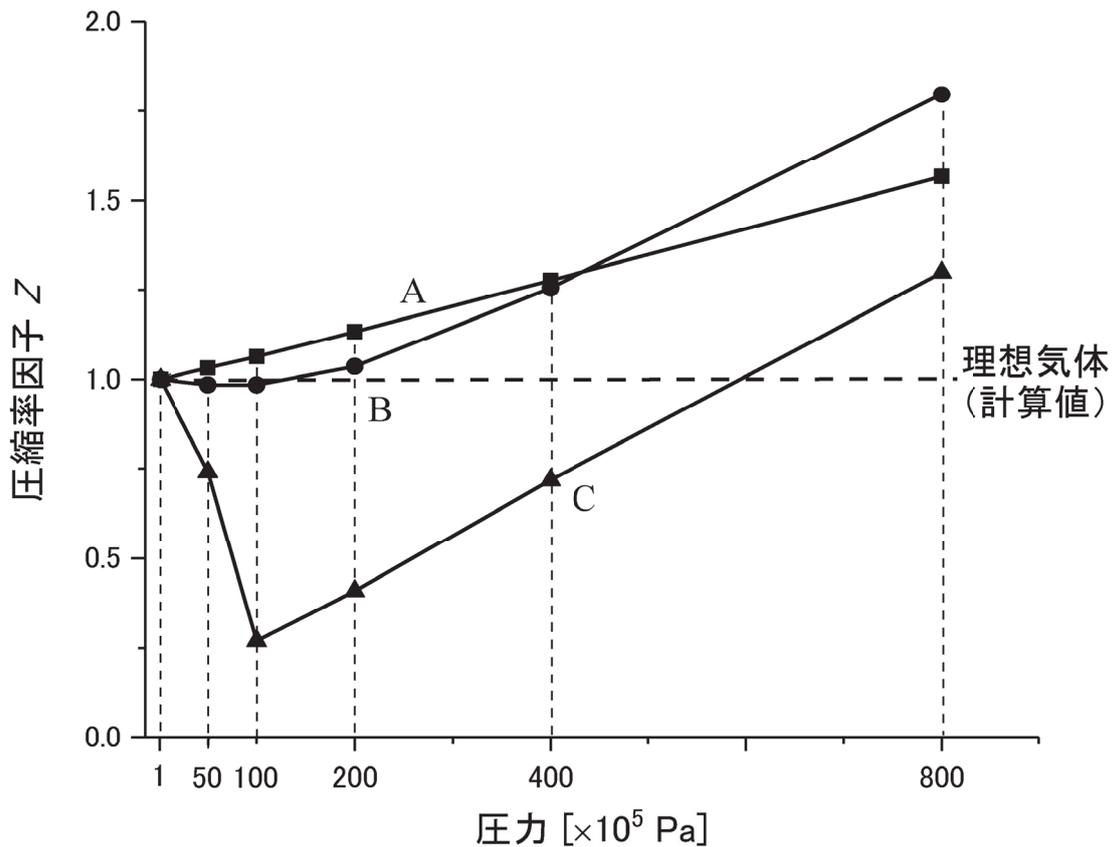


図 3 1 mol の気体 A, B, C の Z と圧力の関係

(*3) S. Glasstone, D. Lewis “Elements of Physical Chemistry” D. Van Nostrand Company, Inc. (1960)

(*4) 清水 正賢 “実在気体の圧縮率因子について” 化学教育 第 17 卷 第 1 号 (1968)

分子自身の大きさの影響について考察するために、グラフ中の圧力 $800 \times 10^5 \text{ Pa}$ において、気体の分子同士がどの程度接近しているか考えてみよう。まず、気体の占める体積について、液体と比較してみる。例として、水分子 (H_2O) を挙げる。 $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ の気体の H_2O 1 mol を、温度を一定に保ち、気体のまま $800 \times 10^5 \text{ Pa}$ に圧縮できたとすると、体積が約 800 分の 1 になり、気体の H_2O 1 mol の体積は液体の H_2O 1 mol の体積に近づく。つまり、図 3 の $800 \times 10^5 \text{ Pa}$ では、気体の分子同士はかなり接近していることが推測でき、分子自身の大きさが、Z へ与える影響が大きいことが想像できる。

次に、分子間力について考える。分子間力には、ファンデルワールス力、極性分子間に働く静電的な引力、水素結合による分子間の相互作用がある。

12. 水素結合以外の分子間力の傾向について述べた以下の記述のうち、正しいものの組み合わせを a.~d.の中から選び、解答欄

サ

 に記せ。

- ① 分子量が同じ場合、極性が大きい分子の方が分子間力は大きい。
- ② 分子量が同じ場合、極性が小さい分子の方が分子間力は大きい。
- ③ 極性が同じ場合、分子量が大きい分子の方が分子間力は大きい。
- ④ 極性が同じ場合、分子量が小さい分子の方が分子間力は大きい。

- a. ①, ③
- b. ①, ④
- c. ②, ③
- d. ②, ④

13. 図3に関する4つの記述について、正しいものには1, 正しくないものには0を、解答欄 ~ に記せ。

- 気体Aについては、圧力を高くするにつれ、Zは直線的に増加している。これは、Aは分子間力が小さく、分子自身の大きさの影響を受けるからである。・・・
- 気体Bについては、圧力を $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ から $100 \times 10^5 \text{ Pa}$ まで上げていくとZは減少するが、その減少量はCの場合に比べて小さい。これは、Bの分子間力がCに比べて小さいからである。・・・
- 気体Cについては、 $50 \times 10^5 \text{ Pa}$ から $100 \times 10^5 \text{ Pa}$ の圧力では分子間力の影響によりZが減少するが、 $100 \times 10^5 \text{ Pa}$ 以上の圧力において、圧力とともにZが増加する。これは、分子自身の大きさの影響が大きくなるためである。・・・
- 気体A, B, Cの体積は、この実験を行った測定温度、常圧 ($1 \times 10^5 \text{ Pa}$) において、理想気体の体積との差が小さい。・・・

14. 気体A, B, Cは水素 (H_2), 窒素 (N_2), 二酸化炭素 (CO_2)のいずれかである。もっとも適切な気体の組み合わせを次から選び、解答欄 に記せ。

- | | | |
|---------------------|-----------------|------------------|
| a. A: H_2 | B: N_2 | C: CO_2 |
| b. A: N_2 | B: H_2 | C: CO_2 |
| c. A: CO_2 | B: H_2 | C: N_2 |
| d. A: CO_2 | B: N_2 | C: H_2 |

生 物

PART I, PART II の問題があります。マークセンス方式の解答欄ア～シ
および記述方式の解答欄 A～E を使って解答しなさい。

PART I

細胞と生物種に関する以下の文章を読み、各問いに答えよ。

地球上には多様な生物が存在しており、その形状やサイズ、生活環などもさまざまである。しかしながらこれらの生物は共通の構成単位で成り立っており、このような単位を細胞とよぶ。細胞には性質の異なる複数の種類が存在するが、下記のような共通性をもつ。

- ・ 細胞は **A** に包まれ、外界と仕切られている。
- ・ 細胞は⁽¹⁾遺伝物質である DNA から mRNA を経由してタンパク質を合成する。
- ・ 細胞は⁽²⁾細胞分裂により増殖する。
- ・ 細胞は⁽³⁾自ら取り入れた主に有機物を分解し、生命活動に必要なエネルギーを得る。

細胞は、核をもたない原核細胞と、核をもつ真核細胞に大きく分けられる。DNA は真核細胞では核に含まれているが、原核細胞では **B** の中に存在している。原核細胞、真核細胞で構成されている生物はそれぞれ⁽⁴⁾原核生物、真核生物とよばれる。原核生物のほとんどは単細胞生物であるが、ユレモなど一部の **C** は細胞が繋がった糸状体として存在している。また **C** は光合成色素である **D** を細胞にもち、光合成により自ら必要な有機物を合成する。従って、同じ原核生物でも従属栄養生物に属する大腸菌などとは質的に異なる **E** 生物に属する。一方、真核生物の多くは動物、植物などの多細胞生物であるが、中には⁽⁵⁾真核生物でありながら単細胞生物であるものも存在する。

1. 文章中の空欄に入るもっとも適切な語句を解答欄 ～ に記せ。
なお, , , は漢字で記すこと。

2. 文章中の下線部(1)における過程に関与する語句のみを含むものを下記から 1 つ選び, 解答欄 に記せ。

- a. RNA ポリメラーゼ, アンチコドン, 岡崎フラグメント
- b. tRNA, リボソーム, DNA 中のプロモーター
- c. 転写因子, リーディング鎖, リプレッサー
- d. アミノ酸, DNA リガーゼ, DNA 中のエキソン

3. 文章中の下線部(2)に関連する記述のうちで正しいものはどれか。下記から 1 つ選び, 解答欄 に記せ。

- a. 多細胞生物における体細胞は 1 つの受精卵の細胞分裂により発生したクローンであり, ゲノムの塩基配列や発現している遺伝子はほとんどの細胞の間で同一である。
- b. 筋肉細胞や神経細胞など, 哺乳類の個体全体における多くの細胞は細胞分裂により常に新しい細胞に入れ替わっている。
- c. 核相が $2n$ の真核生物の体細胞が DNA 複製後に体細胞分裂を起こし, 父方由来の DNA と母方由来の DNA の両方をそれぞれにもつ娘細胞が 2 つ形成される。
- d. 無性生殖は親個体が分裂して類似したサイズの個体に分かれ, 個体の一部の細胞分裂により子を生じる生殖法であり, 子の遺伝的多様性が有性生殖と比べ生じやすい。

4. 文章中の下線部(3)に関連する記述のうちで正しくないものはどれか. 下記から1つ選び、解答欄 に記せ.

- a. 異化とは、複雑な分子を単純な分子に分解することで細胞がエネルギーを得る過程である.
- b. リン酸がATPから遊離する際にエネルギーが放出され、このエネルギーが同化などに使われる.
- c. 微生物の酵母などは酸素を使ってアルコール発酵を行い、ATPを生産する.
- d. 効率的なエネルギー物質である脂質はグリセリンと脂肪酸に分解され、前者は解糖系、後者はクエン酸回路の中間体に変化して代謝される.

5. 文章中の下線部(4)に関して、原核生物および真核生物の説明として正しいものはどれか. 下記から1つ選び、解答欄 に記せ.

- a. 原核生物は真核生物と同様、ミトコンドリアでエネルギー生産を行う.
- b. 真核生物には、遺伝子が転写されたあと、核内においてエキソンが除去されイントロンのみが結合するスプライシングという過程があるが、原核生物にはそのような過程はない.
- c. 真核生物の植物は細胞壁をもつが、原核生物は真核生物の動物と同じように細胞壁をもたない.
- d. 古細菌(アーキア)は原核生物であるが、rRNAの塩基配列の解析により、真正細菌よりも真核生物に近いとされている.

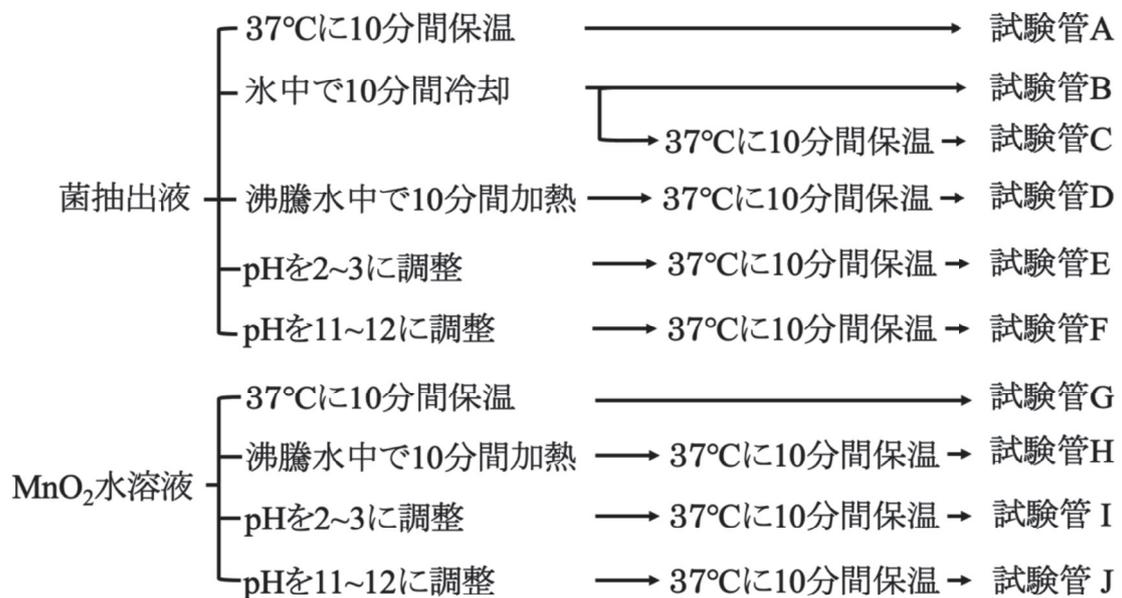
6. 文章中における下線部(5)について、下記の組み合わせの中でともに真核生物でありながら単細胞生物であるものの組み合わせはどれか. 下記から1つ選び、解答欄 に記せ.

- a. アカパンカビ, ミドリムシ
- b. マイコプラズマ, ボルボックス
- c. アメーバ, ゾウリムシ
- d. ネンジュモ, ツノモ

(このページは空白です.)

PART II

大腸菌の培養液から細胞を集め、pH7の緩衝液中ですり潰して遠心分離し、細胞中の多くのタンパク質が溶け込んでいる菌抽出液を調製した。試験管に菌抽出液1 mLを取り、以下のような処理を行い、試験管A~Fとした。同様に、試験管に0.1 g/mL MnO₂水溶液1 mLを取り、以下のような処理を行い、試験管G~Jとした。



pHはHCl, NaOH水溶液を数滴加え、それぞれpH2~3, pH11~12に調整した。

その後、10%のH₂O₂水溶液を1 mL加え、O₂の気泡の発生の有無を観察した。その結果、試験管A, C, G, H, I, Jにおいて激しく気泡が、また試験管Bは穏やかに気泡が発生した。しかし試験管D, E, Fにおいてはほとんど気泡の発生は観察できなかった。

7. H_2O_2 と反応して O_2 の気泡を発生させる菌抽出液中の酵素 X は以下のうちのどれか. 下記から 1 つ選び, 解答欄 に記せ.

- a. アミラーゼ
- b. リパーゼ
- c. カタラーゼ
- d. リガーゼ

8. この実験から得られる考察として不適切なものはどれか. 下記から 1 つ選び, 解答欄 に記せ.

- a. 試験管 A, E, F の比較から, この酵素 X の反応には最適 pH があると考えられる.
- b. 試験管 A, B, C の比較から, この酵素 X の反応には温度依存性があると考えられる.
- c. 試験管 B, C, D の比較から, この酵素 X は高温で熱変性し, それは不可逆であると考えられる.
- d. 試験管 G, H, I, J の比較から, MnO_2 のような有機触媒は熱や pH の影響は受けないと考えられる.

突然変異を引き起こす性質のある化学物質で大腸菌を処理して、 H_2O_2 の致死作用を受けやすい変異株 3 種類を得た。大腸菌野生株 (Wild Type; 以下 WT とする) と 3 種類の変異株 (Mutant; 以下 Mut-1~Mut-3 とする) について、菌抽出液を調製し、その 1 mL をそれぞれ試験管にとり 37°C で 10% の H_2O_2 を 1 mL 加え、 O_2 の気泡の発生を観察した。その結果、3 種類の変異株は野生株に比べ気泡の発生が穏やかであった。そのことから H_2O_2 の分解に関わる酵素 X の遺伝子 (以下、遺伝子 x とする) に変異が生じたと仮定し、以下の実験 i) ~ iii) を行なった。

実験 i)

PCR 法は、以下の 1) ~ 3) の反応を約 30 サイクル繰り返すことにより、2 種類のプライマーに挟まれた領域を増幅できるという方法である。

- 1) 鋳型となる DNA を約 95°C に加熱することで DNA の 2 本鎖間の結合が切れて 1 本ずつのヌクレオチド鎖に解離する。
- 2) 約 60°C で 2 種類のプライマーがそれぞれの鎖の相補的な配列に結合する。
- 3) それを起点に約 72°C で DNA ポリメラーゼがプライマーに続くヌクレオチド鎖を合成する。

WT と Mut-1~Mut-3 のゲノム DNA を鋳型に、図 1 のような塩基配列をもとにプライマーを設計し、遺伝子 x とその転写調節領域を PCR 法により増幅した。アガロースゲル電気泳動により、増幅された PCR 産物を観察したところ、いずれの変異株の PCR 産物も野生株の場合と大きなサイズの変化は見られなかった。

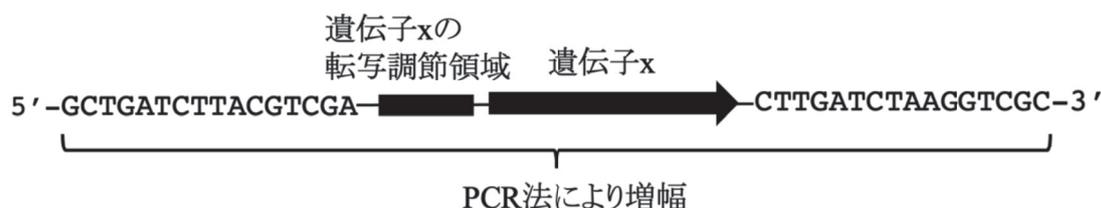


図 1. PCR 法により増幅しようとした遺伝子 x とその転写調節領域およびプライマー設計に用いた塩基配列

実験 ii)

PCR 法で増幅された遺伝子 x とその転写調節領域の塩基配列を調べた結果、野生株の遺伝子 x は 2262 塩基対からなり、酵素 X は 753 個のアミノ酸からなるタンパク質であると考えられた。そしてどの変異株にもそれぞれ異なる突然変異が 1 つずつ観察され、その変異は、野生株の遺伝子 x とその転写調節領域の塩基配列のいずれかにおいて、ある塩基が別の塩基に変化したものであった。

9. 実験 i) において、遺伝子 x の転写調節領域と遺伝子 x を増幅させるための PCR 法に必要な 2 種類のプライマーは、以下のうちのどの配列の組み合わせがもっとも適切か。下記から 1 つ選び、解答欄 に記せ。

- a. 5'-GCTGATCTTACGTCGA-3' と 5'-CTTGATCTAAGGTCGC-3'
- b. 5'-TCGACGTAAGATCAGC-3' と 5'-CTTGATCTAAGGTCGC-3'
- c. 5'-GCTGATCTTACGTCGA-3' と 5'-GCGACCTTAGATCAAG-3'
- d. 5'-TCGACGTAAGATCAGC-3' と 5'-GCGACCTTAGATCAAG-3'

10. 様々な遺伝子突然変異のうち、実験 ii) で観察されたように、ある塩基が別の塩基に変化する突然変異をなんというか。もっとも適切なものを下記から 1 つ選び、解答欄 に記せ。

- a. 置換
- b. 挿入
- c. 欠失
- d. 重複

実験 iii)

タンパク質を含む菌抽出液をポリアクリルアミドゲル電気泳動に流すと、菌抽出液に含まれる分子量の小さいタンパク質が速く流れ、大きいものがゆっくり流れる。また、特定のタンパク質に特異的に結合する抗体を利用することで、ゲル中のそのタンパク質のみを可視化することができ、その分子量と含有量を観察することができる。野生株 WT と変異株 Mut-1~Mut-3 の菌抽出液を同じ総タンパク質量になるように電気泳動に流し、酵素 X に特異的に結合する抗体を用いて、野生株 WT と変異株 Mut-1~Mut-3 の菌抽出液に含まれる酵素 X の分子量と含有量を比較した。その結果が図 2 である。ここでは含有量が多いものは太く、少ないものは細い線で示している。

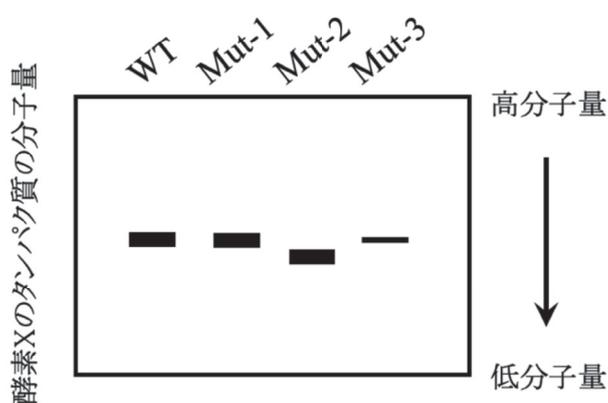


図 2. ポリアクリルアミドゲル電気泳動による、野生株 WT と変異株 Mut-1~Mut-3 の菌抽出液に含まれる酵素 X の分子量と含有量の比較

11. 実験 iii)の結果から考えて、変異株 Mut-1 にはどのような変異が生じていたと考えられるか。もっとも適切な考察を下記から 1 つ選び、解答欄 に記せ。

- a. 遺伝子 x の転写調節領域内のある塩基に変異が生じた。
- b. 遺伝子 x 内のある塩基に変異が生じ、アミノ酸を規定するコドンが終止コドンに変化した。
- c. 遺伝子 x 内のある塩基に、アミノ酸の変化を伴う変異が生じた。
- d. 遺伝子 x 内のある塩基に、アミノ酸の変化を伴わない変異が生じた。

12. 実験 iii)の結果から考えて、変異株 Mut-2 にはどのような変異が生じていたと考えられるか。もっとも適切な考察を下記から 1 つ選び、解答欄 に記せ。

- a. 遺伝子 x の転写調節領域内のある塩基に変異が生じた。
- b. 遺伝子 x 内のある塩基に変異が生じ、アミノ酸を規定するコドンが終止コドンに変化した。
- c. 遺伝子 x 内のある塩基に、アミノ酸の変化を伴う変異が生じた。
- d. 遺伝子 x 内のある塩基に、アミノ酸の変化を伴わない変異が生じた。

13. 実験 iii)の結果から考えて、変異株 Mut-3 にはどのような変異が生じていたと考えられるか。もっとも適切な考察を下記から 1 つ選び、解答欄 に記せ。

- a. 遺伝子 x の転写調節領域内のある塩基に変異が生じた。
- b. 遺伝子 x 内のある塩基に変異が生じ、アミノ酸を規定するコドンが終止コドンに変化した。
- c. 遺伝子 x 内のある塩基に、アミノ酸の変化を伴う変異が生じた。
- d. 遺伝子 x 内のある塩基に、アミノ酸の変化を伴わない変異が生じた。

(このページは空白です.)

(このページは空白です.)

(このページは空白です.)

