

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	30

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〜タ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

複素数と三角関数の加減乗除の関係について考える. 実数 θ, θ' を $0 \leq \theta < 2\pi, 0 \leq \theta' < 2\pi$ とし,
 $z = \cos \theta + i \sin \theta, z' = \cos \theta' + i \sin \theta'$ とする. このとき,

1. zz' は次のどれか. 適切なものを解答欄 ア に記せ.

- a. $\cos(\theta + \theta') + i \sin(\theta + \theta')$
- b. $\cos(\theta - \theta') + i \sin(\theta - \theta')$
- c. $\cos(\theta + \theta') - i \sin(\theta + \theta')$
- d. $\cos(\theta - \theta') - i \sin(\theta - \theta')$

2. $\frac{z}{z'}$ は次のどれか. 適切なものを解答欄 イ に記せ.

- a. $\cos(\theta + \theta') + i \sin(\theta + \theta')$
- b. $\cos(\theta - \theta') + i \sin(\theta - \theta')$
- c. $\cos(\theta + \theta') - i \sin(\theta + \theta')$
- d. $\cos(\theta - \theta') - i \sin(\theta - \theta')$

(このページは空白です.)

ここで、 n を自然数とし、 $\theta = \frac{\pi}{n}$ とする。このとき、

3. $z^n = -\boxed{\text{ウ}}$ である。

4. * また、 $\sum_{k=0}^{n-1} z^k = \frac{1-z^n}{1-z} = \frac{\boxed{\text{エ}}(1-\bar{z})}{|1-z|^2}$ である。

5. 従って、 $\sum_{k=0}^{n-1} \cos \frac{k\pi}{n} = \boxed{\text{オ}}$ である。

6. $\sum_{k=0}^{n-1} \sin \frac{k\pi}{n}$ は次のどれか。適切なものを解答欄 $\boxed{\text{カ}}$ に記せ。

a. $\tan \frac{\pi}{n}$

b. $\frac{1}{\tan \frac{\pi}{n}}$

c. $\tan \frac{\pi}{2n}$

d. $\frac{1}{\tan \frac{\pi}{2n}}$

また、 $w = z + \frac{1}{z}$ とおくと、 $z^5 - 1 = (z-1)z^2(\boxed{\text{A}})$ である。

7. $\boxed{\text{A}}$ として適切な w の整式を解答欄 $\boxed{\text{A}}$ に記せ。

これより、

8. $\cos \frac{2\pi}{5} = \frac{\sqrt{\boxed{\text{キ}} - \boxed{\text{ク}}}}{\boxed{\text{ケ}}}$ である。

9. * 従って、 $|1-z| = \sqrt{\frac{\boxed{\text{コ}} - \sqrt{\boxed{\text{ク}}}}{\boxed{\text{サ}}}}$ となる。これは、半径 1 の円に内接する正 5 角形の 1 辺の長さに等しい。

* 小問4および9において、複素数の絶対値が用いられていますが、これは出題範囲外である数学IIIで扱われるトピックでした。そのため、これらの間については受験者全員を正解としました。

(このページは空白です.)

PART II

空間において, $\{(x, y, z) \mid x^2 + y^2 \leq 1\}$ は円柱を表している. 円柱の側面上に, 2 点 $P(1, 0, \pi)$, $Q(-1, 0, -\pi)$ をとる. 円柱の側面に沿いながら, 点 P と点 Q を結ぶ曲線のうち, 長さを最小とするような線を L とする.

10. この線 L の長さは $\sqrt{\boxed{\text{シ}}}\pi$ である.

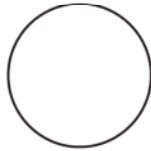
空間において, 2 つの円柱

$$\{(x, y, z) \mid x^2 + y^2 \leq 1\} \text{ と } \{(x, y, z) \mid x^2 + z^2 \leq 1\}$$

で囲まれてできる立体 $V \{(x, y, z) \mid x^2 + y^2 \leq 1, x^2 + z^2 \leq 1\}$ を考えよう.

11. 実数 t が $-1 < t < 1$ を動くとき, 立体 V と平面 $\{(x, y, z) \mid x = t\}$ との共通部分をなす図形 C は次のどれか. もっとも適切なものを解答欄 $\boxed{\text{ス}}$ に記せ.

a.



b.



c.

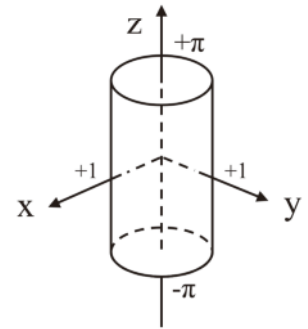


d.



12. 図形 C の面積を解答欄 $\boxed{\text{B}}$ に記せ.

13. 立体 V の体積は $\frac{\boxed{\text{セソ}}}{\boxed{\text{タ}}}$ である.



(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～ク
および記述方式の解答欄 A～D を使って解答しなさい。

PART I

魚のエサまき装置の開発

物理の重要な用途として装置開発が挙げられる。基礎物理からエンジニアリングの世界まで装置を正しく設計し動作させることはとても重要である。この問題では皆さんに池の中心から鯉にエサをまく装置を開発していただく。

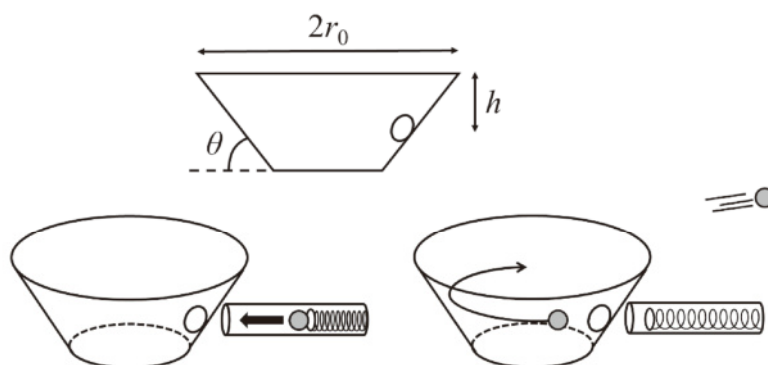


図 1

図 1 にあるような側面が θ の角度をもつ回転対称の器とばねを用いた発射機を用意する。この器の側面には穴が空いており、ここからエサを側面に沿うように初速 V_0 で水平に入射する。エサは器の側壁をらせん状に滑っていき、最後は外に放たれる。直感でわかるように、初速が足りないとエサは外に出ていかない。側壁の傾き $\theta = 45$ 度、エサの質量 $m = 0.5$ g、器の一番上の直径 $2r_0 = 0.40$ m、穴から器の上部までの高さ $h = 4.0$ cm、重力加速度 $g = 9.8$ m/s² とする。また、エサは十分小さく質点と考えてよく、器との摩擦、そして飛んでいる時の空気抵抗も無視できるものとする。

まずは発射台のバネを購入したい．所望のバネ定数を概算してみよう．この発射台を図 2 のように器の傾きと同じ $\theta = 45$ 度に向けバネを 2.0 cm 縮めた状態から発射したとき，エサが $D = 4.0$ m 飛ぶようにしたい．実際の発射にはバネを縮める距離などを調整できるので，大体の目安がわかればよい．

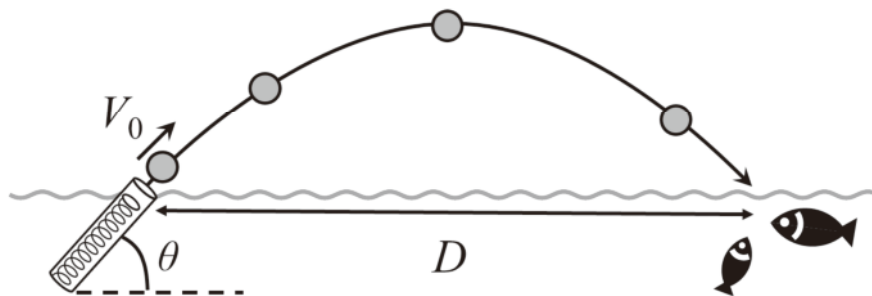


図 2

1. エサを距離 D 飛ばすための初速度 V_0 を計算し，次のうちからもっとも適切なものを選び，解答欄 に記せ．
 - a. 3.1 m/s
 - b. 4.2 m/s
 - c. 6.3 m/s
 - d. 8.5 m/s
2. ホームセンターで 4 種類の異なるバネが売られていた．上記のエサ発射台に最も適したバネのバネ定数を選び，解答欄 に記せ．
 - a. 5 N/m
 - b. 50 N/m
 - c. 500 N/m
 - d. 5000 N/m

皆さんの中で、「バネの発射機があるのであれば、なぜこれをエサまき機として使わない？」という鋭い疑問をもつ人がいるであろう。器を使う狙いは、エサの質量やバネの縮み方のばらつきで初速を微妙に変化させ、これを元にして最終的にエサを四方八方にばらまくことである。

さて、バネが購入できたので、器の横に発射機をセットして試し打ちをしてみた。

ある初速度 V_0 でエサを発射した時、エサは入射穴と同じ高さで半径 r' の部分を1周した後、入射した穴から出てきてしまった。残念。

向心力の式は

$$F = \frac{mV^2}{r}$$

で与えられ、 m は物体の質量、 V は速度、 r は運動の半径を表す。

3. このときの初速度 V_0 はいくらになるか。記述解答欄

A

 に数字を代入せず変数 θ, m, h, g, r' を用いて記せ。ただし、 θ, m, h, g, r' のすべてを用いなくてもよい。

失敗は成功の鍵。前述の実験よりも大きな初速度 $V_0 = 3.0 \text{ m/s}$ でエサを入射したとき、エサは器から予定通り放たれた。図 3 に示すとおり、エサの到達距離は器の端から D' であった。

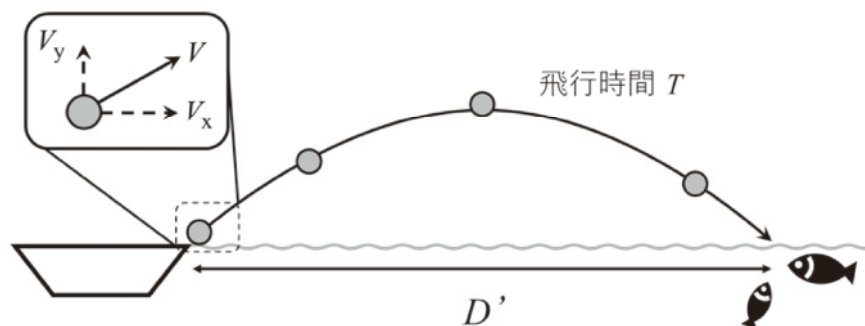
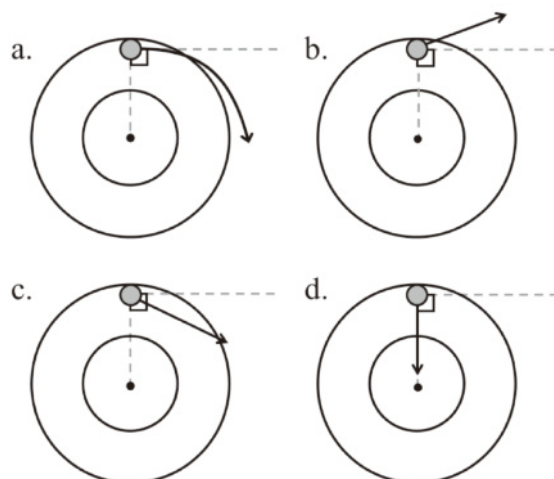


図 3

4. このとき器の上から見るとどの方向にエサが飛ぶか、もっとも適切なものを選び、解答欄 に記せ。図中で矢印のついている丸がエサ、器の入射穴は省いて描いてある。図中の点線と直角記号は円の中心からエサへの直線、またその線に直交した方向をわかりやすく表したものである。



5. エサが器から放れた瞬間のエサの速度 V の値を計算し次のうちから適切なものを選び、解答欄 に記せ.

- a. 0.9 m/s
- b. 1.9 m/s
- c. 2.9 m/s
- d. 3.9 m/s

図3のエサの軌跡を考えると、高校で習った物理では問4で求めたエサが器から放れたときの速度 V だけではエサの到達距離 D' を算出できないが、さらに補足となる情報がわかれば D' を求めることができる.

6. V の水平成分 V_x と鉛直成分 V_y が与えられたとき、 D' はどれくらいになるか. V_x, V_y, m, g を用いて記述解答欄 に記せ. ただし、 V_x, V_y, m, g のすべてを用いないでもよい. また、器の上端と水面の高さは同じと考える.
7. 速度 V 、飛行時間 T が与えられたとき、 D' はどれくらいになるか. V, T, m, g を用いて記述解答欄 に記せ. ただし、 V, T, m, g のすべてを用いないでもよい.

PART II

トランジスタの増幅原理

携帯電話やパソコンの中には、半導体で作られているダイオード、トランジスタ、集積回路 (IC) などの部品 (半導体素子) が無数に使われている。ここでは、トランジスタの動作原理に基づいて「増幅」という現象を説明していく。

半導体は、

- 不純物を含まない真性半導体
- 余剰な電子を供給するためのドナー不純物 (例えば、リン : P) を含む n 型半導体
- 正孔 (電子の抜け穴) を供給するためのアクセプター不純物 (例えば、ホウ素 : B) を含む p 型半導体

に大別できる。

その模式図を図 4, 5 に示す。物質の大部分はシリコンであるが、ここでは不純物に注目して表示してある。はじめに、n 型半導体と p 型半導体を接合させた np 接合ダイオードという構造を考える。n 型半導体側には多くの電子が、p 型半導体側には多くの正孔が存在するが、接合という連続的な構造により「拡散」という現象が接合面付近で起こり、電子は p 型半導体側へ、正孔は n 型半導体側へ移動するようになる。

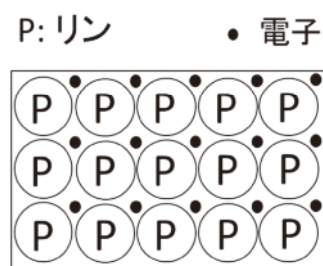


図 4 n 型半導体

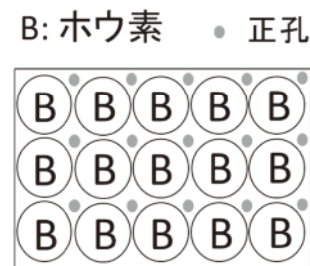


図 5 p 型半導体

8. 「拡散」という現象に関する記述のうち、以下のうちでもっとも適切なものを選び、解答欄 に記せ.

- a. 物質中に電界が生じ、この電界によって電子や正孔が動く現象.
- b. 物質中の電子が、物質内の電界と磁界から力を受け動く現象.
- c. 電子や正孔の濃度が多い領域から少ない領域へ移動が起こることで、濃度分布が一様になろうとする現象.
- d. 原子同士が互いの電子を共有することで結びつく現象.

しかし、ある程度電子や正孔の移動が起こると、接合面付近に電荷がキャンセルを起し電子・正孔のどちらもほぼ存在しない空乏層とよばれる領域ができる（図 6）. この空乏層内では、移動した電子と正孔により電界が作られ、この電界のためこれ以上の拡散が起こらなくなる. これが np 接合ダイオードの平衡時の状態である.

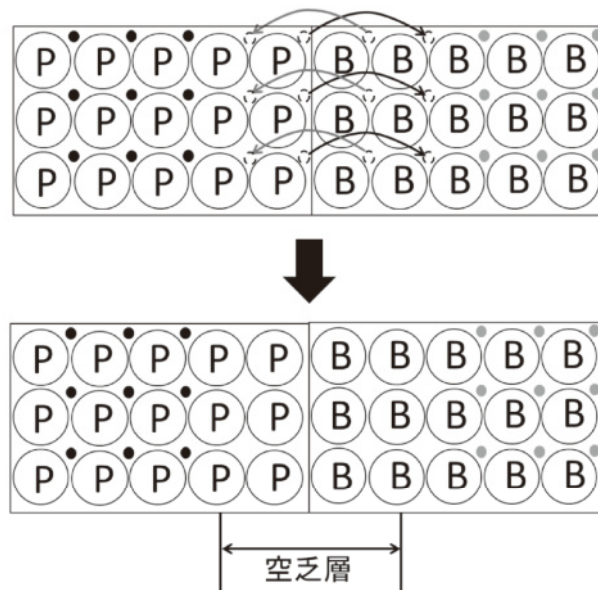


図 6

9. np 接合ダイオードの一般的な作製に関する記述のうち、以下のうちでもっとも適切なものを選び、解答欄

カ

 に記せ。

- a. 母体の半導体原子に対し数密度が百万分の一程度のドナー・アクセプター不純物をそれぞれ添加し作製する。
- b. n 型半導体と p 型半導体の界面の作製には、n 型・p 型半導体を各々持ってきてくっつけければ良いので、結晶の連続性、つまり一つの固体の中で n 型・p 型半導体と別れている必要はない。
- c. ドナー不純物とアクセプター不純物の両方を一様に混ぜた半導体原料から作製する。
- d. 不純物を添加するため、母体を構成する半導体原子の純度にはあまり影響をうけない。

このようなダイオードの n 型半導体側に負の、p 型半導体側に正の電圧（順方向電圧）を加えると、空乏層内の初期電界と逆方向の電界がかかることになり、初期電界を打ち消すくらいの電圧になると np 接合ダイオードに電流が流れ始める（図 7）。

逆に、n 型半導体側に正の、p 型半導体側に負の電圧（逆方向電圧）を加えると、初期電界と同方向の電界がかかり、np 接合ダイオードにはほとんど電流は流れない（図 8）。このようにダイオードは、電圧を加える方向により電流が流れたり、流れなかったりする電子回路部品である。

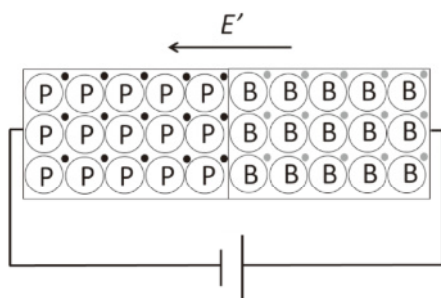


図 7

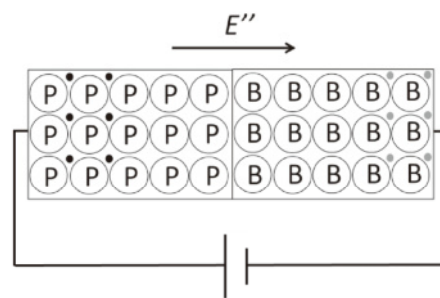
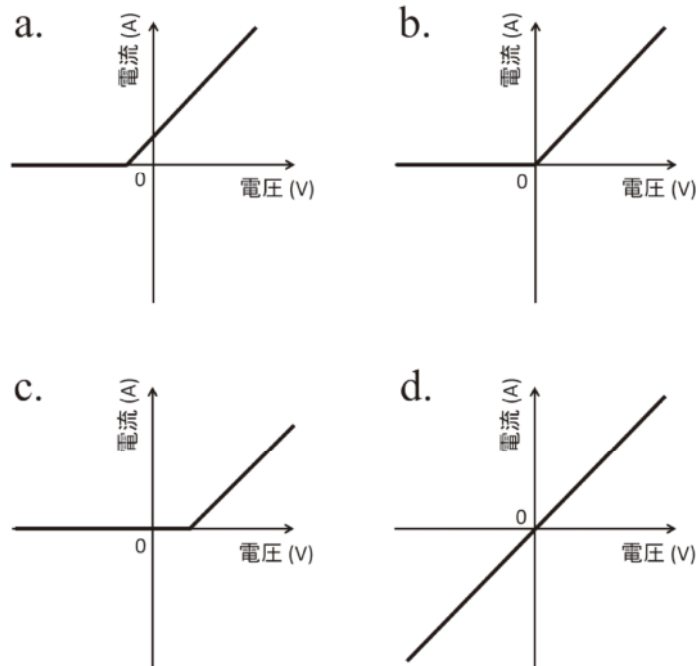


図 8

10. この現象を，横軸に電圧，縦軸に電流をとるグラフ上に描くとどのようなか，以下の概形からもっとも適切なものを選び，解答欄 に記せ．



次に，ここまで説明してきた np 接合ダイオードの p 型半導体を薄い膜にし，もう一層 n 型半導体を加えた npn 構造について考える（図 9）．この構造は一般的にトランジスタとよばれ，「増幅」という現象を示すことで知られている．

「増幅」という言葉を聞くと，全くエネルギーを与えずに元の信号が大きくなることだと勘違いしがちであるが，ここで言う「増幅」というのは，エネルギーを消費することで，所望の信号のみを大きくする現象を表す．

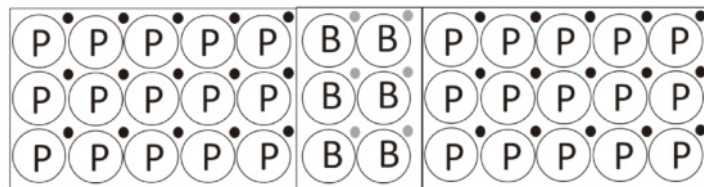


図 9

図 9 に示す npn 構造の左側の np 接合を考え，この np 接合に順方向電圧を加

える（図 10）．前述したように，単体のダイオードに順方向電圧を印加すると電流がたくさん流れるが，p 型半導体層が十分薄いとき，左側の n 型半導体から p 型半導体層に流れ込んだ電子の大部分は，p 型半導体層を通り抜けて右側の n 型半導体層に到達する．このとき右側の pn 接合ダイオードには逆方向電圧をかけておく（図 11）．

電子が p 型半導体層を透過する確率を α とし，これを電流増幅率とよぶ．ここで注意したいのは， α は電流増幅率とよばれているが，最大値は 1 で，その意味では「増幅」は起こらない．それでは，なぜこの現象を「増幅」とよぶのだろうか？

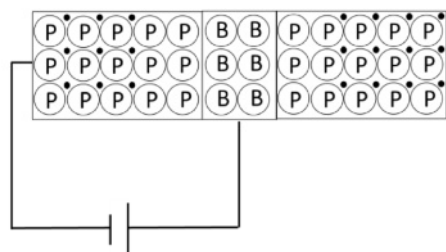


図 10

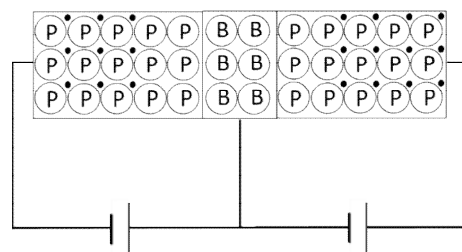


図 11

図 11 に示した npn 構造を左側の np 接合（入力側）と右側の pn 接合（出力側）の組み合わせとして考えてみよう．入力側の np 接合には順方向電圧が印加されており，この部分の抵抗は非常に小さい．

これに対して，出力側の pn 接合では逆方向電圧が印加されており，ほとんど電流が流れず，この部分の抵抗は著しく大きい．

11. 上記の npn 構造を持つトランジスタに付けられた 3 つの電極の名前は，これまで説明してきた動作原理に基づき，1. 電子を放出する，2. 電圧の基準，3. 電子を集める，というような趣旨の英語名がついている．左側の n 型領域から順番に，記述解答欄

D

 に記せ．

ここで電流増幅率 $\alpha = 0.96$ であるトランジスタを考える．仮に np 接合部の抵抗を $1\ \Omega$ ，pn 接合部の抵抗を $100\ \text{k}\Omega$ とする．そして，pn 接合部の外部には負荷抵抗と呼ばれる $1\ \text{k}\Omega$ の抵抗が直列に接続されている．入力側に $100\ \text{mV}$ の電圧を加えると $100\ \text{mA}$ の電流が np 接合部に流れる． $\alpha = 0.96$ であるから，流れ込んだ電流のうち， $96\ \text{mA}$ は出力側の n 型半導体に到達し，残りの $4\ \text{mA}$ は中央にある p 型半導体から流れ出ることになる．n 型半導体に到達した $96\ \text{mA}$ の電流は，pn 接合の抵抗を通過し，負荷抵抗として接続された $1\ \text{k}\Omega$ を通るとき，オームの法則により， $96\ \text{mA} \times 1\ \text{k}\Omega = 96\ \text{V}$ の電圧を発生することになる．出力側に生じるこの電圧と，入力側に加えた $100\ \text{mV}$ の電圧を比較し，この回路ではトランジスタが $96/0.1 = 960$ 倍の「増幅」を行ったことを示している．

12. ここまでで説明した「増幅」という現象に関して，以下のうちでもっとも適切なものを選び，解答欄

ク

 に記せ．

- a. 左側の n 型半導体から流入する電子の数が，p 型半導体を通るときに増倍される．
- b. すべての半導体の領域の抵抗を低くし電流を流しやすくすれば，より大きな「増幅」が起こる．
- c. p 型半導体領域を厚くすると電流増幅率 α は大きくなる．
- d. トランジスタの入力側と出力側の抵抗（正確にはインピーダンス）の大きさの違いが重要である．

(このページは空白です.)

化 学

PART I , PART II , PART III の問題があります. マークセンス方式の解答欄ア～ケ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

溶解とは溶質が溶媒と相互作用を持ちながら, 均一に混ざり合うことをいうが, 溶質同士の相互作用と, 溶質と溶媒との相互作用について分けて考えるとわかりやすい.

まずは, イオン性の結晶が水に溶解する場合を考えよう. 塩化ナトリウムの結晶は水によく溶けるが, 結晶中では陽イオンと陰イオンが静電気的な引力によって A とよばれる結合を作っている. 塩化ナトリウムを水に入れると, ナトリウムイオンと塩化物イオンが電離し, それぞれのイオンが水分子と静電気的な引力で引き合って結びつき安定化される B という現象が起こる. イオン性の結晶では A よりも B による安定化の効果が大きいことが, 水に溶解する主要な要因である.

1. A , B に入る用語をそれぞれ記述解答欄 A , B に記せ.

次に極性分子の溶解について考える。極性分子のうち、非電解質であるショ糖やエタノールは塩化ナトリウムのように電離しないが、水にはよく溶ける。これは、分子内にヒドロキシ基のように極性のある部分（親水基）があるため、B が起こるからである。

2. 以下に示す高分子のうち、もっとも水に溶けやすいものを選び、解答欄

ア に記せ。

- a. ポリスチレン
- b. ナイロン
- c. ポリビニルアルコール
- d. ポリエチレンテレフタレート（PET）

一方、無極性分子は、ヘキサンのような無極性溶媒に溶けやすい。

以下のような実験を行った。ヨウ化カリウム（KI）水溶液に対し、希硫酸と過酸化水素水を加えた。すると、水溶液の色が褐色になった。これは、ヨウ化物イオン（I⁻）が過酸化水素によって酸化され、ヨウ素（I₂）が発生した後（式1）、I₂とI⁻が反応して、三ヨウ化物イオン（I₃⁻）を生じて溶け、ヨウ素ヨウ化カリウム水溶液（褐色）となったためである（式2）。



（式2）の反応は可逆反応である。

この水溶液を分液ろうとに入れ、ヘキサンを加えて振り、静置したところ、分液ろうと内の溶液は上下2層に分かれた。

3. それぞれの層の色として、もっとも適切なものを選び、上層の色を に、下層の色を に記せ。

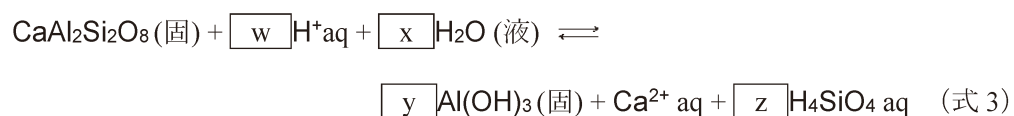
- a. 紫色
- b. 褐色
- c. 青色
- d. 無色

4. セッケンは水になじみにくい疎水基と水になじみやすい親水基からなる。セッケンに関する以下の記述のうち、正しい選択肢の番号をすべて選び、記述解答欄 に記せ。

- ① セッケンを水に溶かすと、親水基部分を内側に向けて集まり、ミセルとよばれるコロイド粒子をつくる。
- ② セッケンを硬水中で使用すると、水に不溶性の塩を生じるため、洗浄力が弱まる。
- ③ 合成洗剤の原料の一つであるアルキルベンゼンスルホン酸は強酸であり、その合成洗剤の水溶液は弱酸性を示す。
- ④ セッケンを酸性の水溶液中で使用すると、脂肪酸が遊離し、洗浄力が弱まる。
- ⑤ セッケンで油汚れが落ちるのは、セッケンの疎水性部分が油状物質を取り囲んで、水中に分散させるからである。

PART II

灰長石 ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) は降雨, 特に酸性雨によって, 水酸化アルミニウム ($\text{Al}(\text{OH})_3$) からなるギブス石と, 水溶性のオルトケイ酸 (H_4SiO_4) と, カルシウム (Ca^{2+}) へ風化する. この反応は可逆反応であり (式 3) のように表される.



ここで, H_4SiO_4 は水溶液中で電離しないものとする.

5. (式 3) の係数 $\boxed{\text{w}}$, $\boxed{\text{x}}$, $\boxed{\text{y}}$, $\boxed{\text{z}}$ のうち, 値の異なるものはどれか.

解答欄 $\boxed{\text{エ}}$ に記せ.

- a. w
- b. x
- c. y
- d. z

6. (式 3) の可逆反応が, ある温度で平衡状態にあるとき, 平衡定数 K を表す式を記述解答欄 $\boxed{\text{D}}$ に記せ. ここで, 固体と H_2O は, 式に含めなくてよい. また, 単位は記さなくてよい.

7. カルシウム (**Ca**) に関する記述のうち、正しい記述の個数を解答欄

オ

 に記せ.

- 酸化カルシウム (**CaO**) は酸性酸化物である.
- カルシウム (**Ca**) は常温の水とは反応しないが、熱水とは徐々に反応する.
- 二酸化炭素 (**CO₂**) を含んだ地下水の作用で石灰岩 (炭酸カルシウム (**CaCO₃**)) が主成分) が溶けて、地下に鍾乳洞ができることがある.
- 塩化カルシウム (**CaCl₂**) が凍結防止剤となる理由は, **CaCl₂** により水溶液の凝固点が上がるからである.

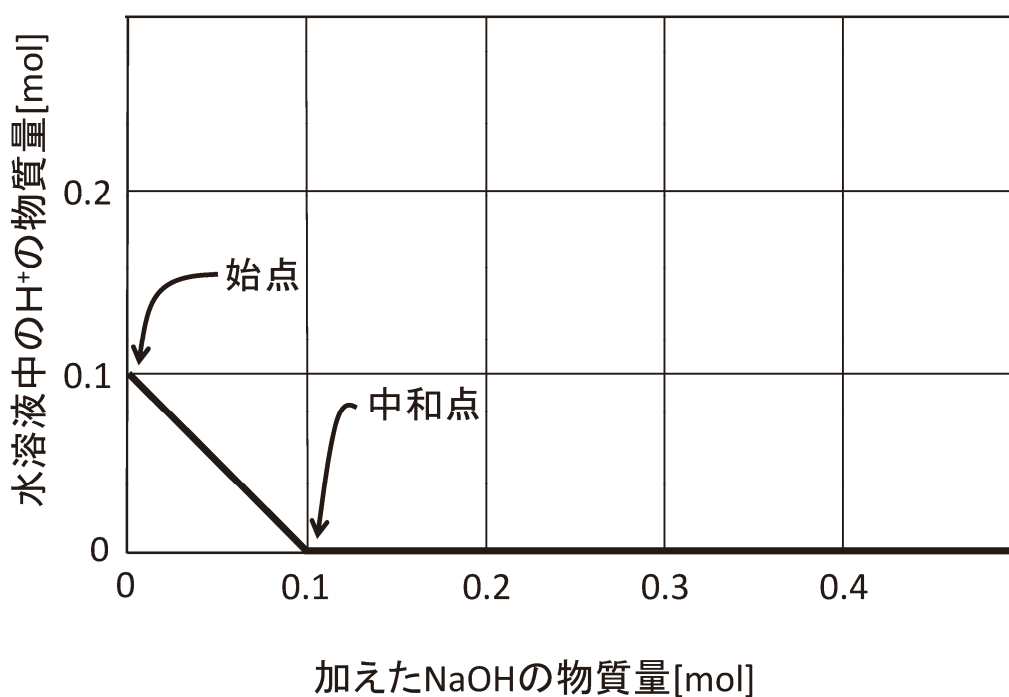
(このページは空白です.)

PART III

水溶液に酸や塩基を加える実験を行い、水溶液中の水素イオン (H^+) や水酸化物イオン (OH^-) の物質량について考察した. この問題の図中では, 水の電離は無視することとする.

実験 1

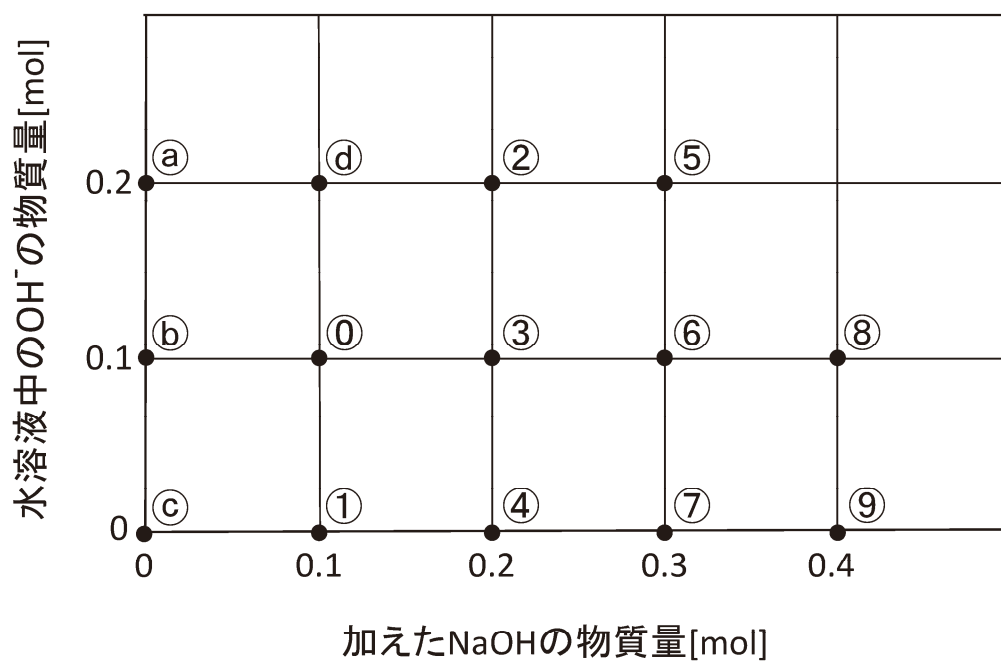
ビーカーに 1.0 mol/L の希塩酸が 100 mL 入っている. ある濃度の水酸化ナトリウム水溶液をビュレットから滴下し, その希塩酸を中和した. 下のグラフは, その時のビーカー内の水溶液中の H^+ の物質量の変化のようすを表したものである.



実験 2

次に、別のビーカーに希塩酸の代わりに、1.0 mol/L の希硫酸を 100 mL 入れ、先ほどと同じ濃度の水酸化ナトリウム水溶液で中和した。

8. このとき、ビーカー内の水溶液中の OH^- の物質量の変化のようすを表したグラフは、点㉖～㉔及び㉑～㉓の中のどの点を通るか。始点の答えを解答欄 カ に、中和点の答えを解答欄 キ に、そのあと最初に通る点の答えを解答欄 ク に記せ。

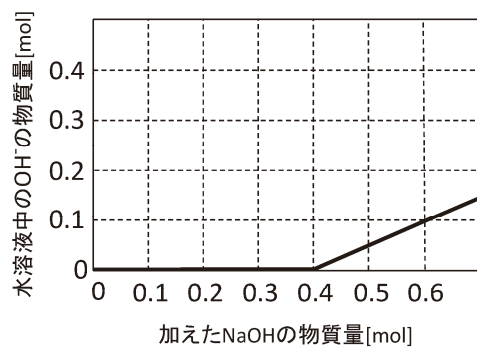


実験 3

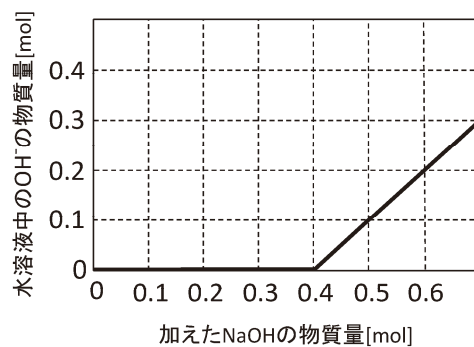
新たに、別のビーカーに 4.0 mol/L の希塩酸 100 mL を入れ、そこに アルミニウム (Al) 0.10 mol をすべて溶かし、水溶液 (A) をつくった. 水溶液 (A) に実験 1 と同じ濃度の水酸化ナトリウム水溶液を徐々に加えた.

9. このとき、ビーカー内の水溶液中の OH^- の物質量的変化のようすを表す正しいグラフはどれか. もっとも適切なものを解答欄 ケ に記せ.

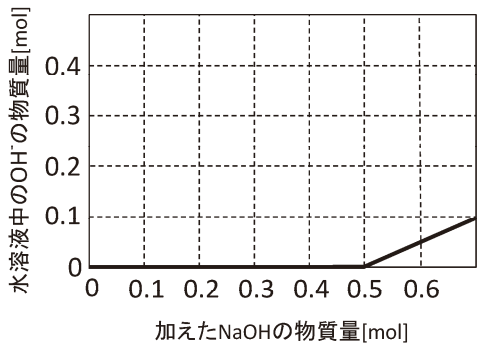
a.



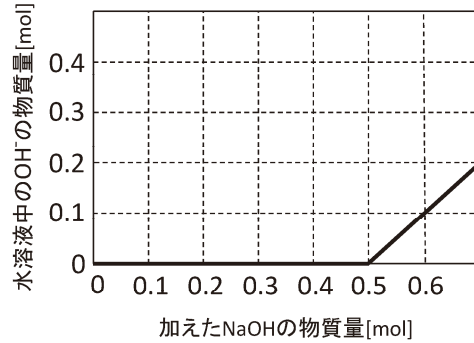
b.



c.



d.



10. アルミニウム (Al) に関する以下の記述を読み, 正しい選択肢をすべて選び, 記述解答欄

E

 に記せ.

- ① 酸化アルミニウム (Al_2O_3) に塩酸を加えると水素 (H_2) が発生する.
- ② アルミニウムの表面に電気分解で緻密な酸化被膜を人工的につけたものをジュラルミンという.
- ③ ルビーも水晶も酸化アルミニウムを主成分とする結晶である.
- ④ 硫酸アルミニウムと硫酸カリウムの混合水溶液を濃縮すると, 複塩の結晶が得られる.

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～ケ
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

「ナメクジに食塩をかけると溶ける」というのを聞いたことがあるだろうか？
やったことのある人もいるかもしれない。そもそも「溶ける」とはどうなること
なのだろうか？

実はナメクジの表面は半透膜で覆われている。そのため、ナメクジに塩をかけ
ると、表面の食塩濃度が高くなり、浸透圧によって体内の水分が体外へと出てい
く。すなわち厳密には「溶ける」のではなく、体の水分を失って「縮む」という
浸透圧のなせる技なのである。

1. 以下の文章中の A ～ E に入るもっとも適切な語句を漢字で解答欄
A ～ E に記せ。

これを細胞レベルで考えてみよう。赤血球の浸透圧は血漿（けっしょう）のそ
れと等しいため赤血球は血液中で正常な形を保つことができる。ヒトの血管か
ら血液内に薬物を投与する際には、投与する薬物を溶かす溶液の浸透圧が血漿
の浸透圧と同じになるようにしなくてはならない。多くの場合、生理食塩水がそ
の溶液として用いられる。多くの脊椎動物では 0.9% NaCl（100 mL に 0.9 g の
NaCl が溶けているもの）が生理食塩水として用いられる。もし誤って薬物を溶
かすのに蒸留水を使うと、蒸留水は A なので、蒸留水が赤血球の中に移動
し、やがて赤血球の膜の一部が破れ、ヘモグロビンが漏れ出る B という現象
が起こる。これらの現象は赤血球の細胞膜が半透膜であるため起こるのである。

類似した現象は植物でもみられる。キュウリなどの野菜に塩をかけると、しんなりする（柔らかくなる）。これもまた浸透圧のなせる技で、キュウリの表面の食塩濃度が高くなり、水分が出たためしんなりするのである。ただ動物細胞と異なり、植物細胞は細胞膜の周りに頑丈な細胞壁がある。植物細胞を蒸留水などの **A** に入れると、蒸留水が細胞に入り細胞壁に **C** をかけ、細胞を膨らませようとする。しかし細胞壁が頑丈なため戻ろうとする圧力が働き、吸水を妨げる。この **C** が生じることによって、植物細胞は形を保ち、赤血球のように細胞が壊れることはない。一方、植物細胞を **D** に入れると、細胞内の水は細胞の外に移動し、浸透圧の高さによっては多量の水が奪われる。そのため細胞質が縮み、細胞膜が細胞壁から剥がれる **E** という現象が起こる。

さて、多くの脊椎動物の体液（血漿，細胞間液など）の浸透圧は，約 0.3 Osm/L のオスモル濃度（浸透圧濃度）に保たれている．オスモル濃度とは溶液中に含まれる溶質粒子のモル濃度のこと（医学大辞典，医学書院による）で，0.3 Osm/L とは，1 リットルの水の中に 0.3 モルの溶質粒子がある状態を意味する．

魚類の産卵に際し，体外受精の魚では雌から卵が，雄から精子が放出されるが，雄の精子は精巣内では運動をせず，体外に放出されてから卵に向かって運動を始め，受精が起こる．興味深いことに，一般に海水魚では精子のいる環境の浸透圧が高くなると精子が運動を開始し，淡水魚では精子のいる環境の浸透圧が低くなると精子が運動を開始する．

実際に，性成熟したキンギョ（淡水魚）の精液をスライドグラスにとり，顕微鏡で観察すると精子は運動していない．その後，以下のような実験を行った．

（あ）：精液に海水（塩分濃度は約 3.4% で，塩分の約 80% は NaCl）を加える．

（い）：精液に生理食塩水（0.9% NaCl）を加える．

（う）：精液に淡水を加える．

（え）：精液に 0.9% KCl（100 mL に 0.9 g の KCl が溶けているもの）を加える．

なお、ヒトの体液とキンギョの体液は等張である。

2. 上記の実験の結果の推察としてもっとも適切に記述しているものを下記から 1 つ選び，解答欄 ア に記せ．ただし，Na の原子量は 23.0，Cl の原子量は 35.5，K の原子量は 39.1 とする．

- a. （あ），（い），（え）で精子は運動せず，（う）で精子は運動する．
- b. （あ），（い）では精子は運動せず，（う），（え）で精子は運動する．
- c. （い）では精子は運動せず，（あ），（う），（え）で精子は運動する．
- d. （あ），（え）では精子は運動せず，（い），（う）で精子は運動する．

次に前述と同様に，性成熟したキンギョ（淡水魚）の精液をスライドグラスにとり，その後，以下のような実験を行い，顕微鏡で観察した．

- (か)：1 L の蒸留水に 0.15 モルの NaCl を溶かした溶液を精液に加える．
- (き)：1 L の蒸留水に 0.30 モルの NaCl を溶かした溶液を精液に加える．
- (く)：1 L の蒸留水に 0.15 モルのグルコースを溶かした溶液を精液に加える．
- (け)：1 L の蒸留水に 0.30 モルのグルコースを溶かした溶液を精液に加える．

3. 上記の実験の結果の推察としてもっとも適切に記述しているものを下記から 1 つ選び，解答欄 に記せ．ただし Na の原子量は 23.0，Cl の原子量は 35.5，グルコースの分子量は 180 とする．

- a. (か) と (き) では精子は運動せず，(く) と (け) で精子は運動する．
- b. (き) と (け) では精子は運動せず，(か) と (く) で精子は運動する．
- c. (く) と (け) では精子は運動せず，(か) と (き) で精子は運動する．
- d. (か)，(き)，(け) では精子は運動せず，(く) で精子は運動する．

食塩をかけるとナメクジが縮むが，食塩の代わりに砂糖をかけても浸透圧の影響によりナメクジは縮む．

4. 食塩と同じ程度の浸透圧を与えるためには，理論的にどの程度の質量の砂糖が必要か，もっとも近い値を下記から 1 つ選び，解答欄 に記せ．ただし Na の原子量は 23.0，Cl の原子量は 35.5，砂糖（ショ糖）の分子量は 342.3 とする．

- a. 食塩の質量の約 2 倍
- b. 食塩の質量の約 5 倍
- c. 食塩の質量の約 10 倍
- d. 食塩の質量の約 20 倍

PART II

DNA は生命の根源とも言われ、生き物が生きていく上での情報源である。そのため DNA は比較的安定な化合物である。しかし紫外線や放射線、ある種の化学物質などの影響によって、損傷を受けることも知られている。例えば、DNA 中のピリミジン塩基（シトシン、チミン）は紫外線を吸収すると、隣り合ったピリミジン塩基が結合し、ピリミジン二量体が生じる。紫外線によるこのような DNA 損傷は細胞死や突然変異の原因となる。一方、生物にはピリミジン二量体などの DNA 損傷を修復する仕組みがある。大腸菌からヒトに至る多くの生物で様々な DNA 修復が確認されており、この DNA 修復の発見に対して、2015 年にノーベル化学賞が授与された。

ここで、大腸菌のピリミジン二量体に対する 2 種類の DNA 修復を紹介しよう。

1 つ目は紫外線による DNA 損傷を可視光により修復するという光回復である。この修復には、光回復酵素と呼ばれるタンパク質が関わる。光回復酵素はピリミジン二量体を見つけて結合し、そこに可視光が当たるとそのエネルギーを利用して二量体を開裂させ、元どおりの 2 つのピリミジンに戻す。もう 1 つは、ヌクレオチド除去修復である（図 1）。この修復では、修復タンパク質複合体が損傷による DNA 鎖の歪みを認識して結合し、損傷部位の両側の数ヌクレオチド離れたところを切断する。損傷を含む鎖が除去されると、欠落した部分を、DNA 合成酵素が相補鎖の対応する塩基配列をもとに正しい塩基を挿入し、元どおりにする。

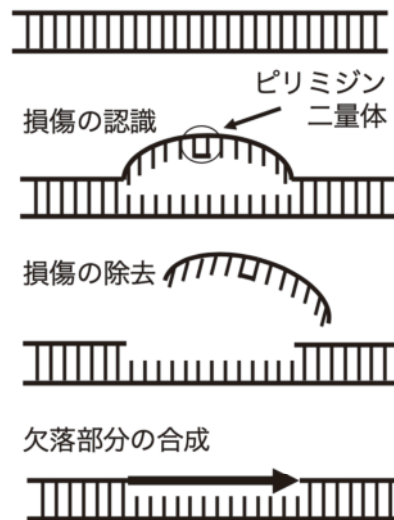


図1. ヌクレオチド除去修復の仕組み

実験 1

大腸菌の 1 細胞は肉眼では見えないが、例えば大腸菌の培養液を 0.1 mL とって栄養寒天培地の表面全体にひろげ 37°C で培養することで、1 細胞が 2, 4, 8 …と細胞分裂を繰り返し、やがて 1 つのコロニー（細胞の塊）を形成して肉眼でも見えるようになる（図 2）。したがって寒天培地上に 100 個のコロニーが得られた場合、大腸菌の培養液には 1 mL あたり 1000 個の細胞が存在していたことになる。

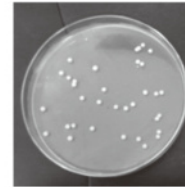


図2. 大腸菌コロニー

今、1 晩培養した大腸菌の培養液を 2 つにわけ、一方を培養液 A とし、 10^6 倍に希釈したのち、その希釈液から 0.1 mL をとって栄養寒天培地の表面全体にひろげた。もう一方の培養液には紫外線を 30 秒照射して培養液 B とし、 10^5 倍に希釈したのち、その希釈液から 0.1 mL をとって栄養寒天培地の表面全体にひろげた。それらをともに 37°C で 24 時間培養したところ、それぞれの寒天上に 250 個と 500 個のコロニーが見られた。

5. 紫外線照射後の生存率 (%)（紫外線照射後に生き残った細胞の割合）としてもっとも適切なものを下記から選び、解答欄

エ

 に記せ。

- a. 2
- b. 5
- c. 20
- d. 50

また大腸菌の培養液を、抗生物質を加えた栄養寒天培地の表面全体にひろげて培養すると、ほとんどの細胞は抗生物質により死滅するが、稀にその抗生物質に抵抗性の突然変異コロニーが生じる。抵抗性をもつ細胞数が培養液中の生きている細胞数に占める割合により突然変異率が計算できる。

紫外線非照射の培養液 A と照射後の培養液 B を希釈せずにそれぞれ 0.1 mL とり、抗生物質を加えた栄養寒天培地の表面全体にひろげた。それらを 37°C で 24 時間培養したところ、培養液 A の場合は 10 個、培養液 B の場合は 200 個の抗生物質抵抗性に突然変異したコロニーが見られた。

6. 紫外線非照射と照射による突然変異率として、もっとも適切な組み合わせを下記から選び、解答欄

オ

 に記せ。

- a. 非照射 4×10^{-8} , 照射 4×10^{-6}
- b. 非照射 4×10^{-8} , 照射 4×10^{-7}
- c. 非照射 4×10^{-7} , 照射 4×10^{-10}
- d. 非照射 4×10^{-7} , 照射 4×10^{-5}

実験 2

前述の DNA 修復機能として光回復のみをもつ大腸菌に様々な線量の紫外線を照射したのちに、以下の条件で光回復処理を行い、細胞を栄養寒天培地の表面全体にひろげて培養し、生存率を求めた。

A 群：紫外線照射後、可視光照射なし

B 群：紫外線照射後、カメラフラッシュで可視光を 1 回照射

C 群：紫外線照射後、30 分間連続して可視光を照射

図 3 は、A 群～C 群の生存率を比較したものである。

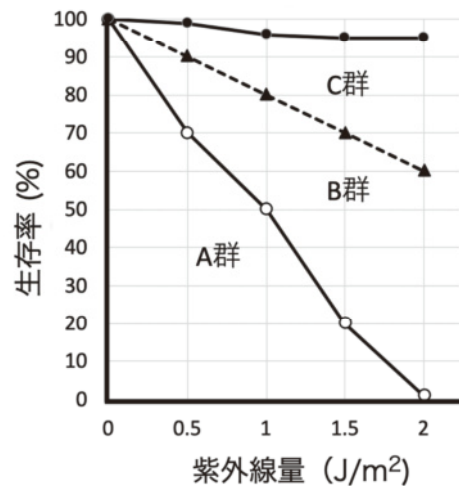


図3. 生存率に対する光回復の効果

7. 実験 2 の結果をもとにした考察として適切なものはいくつあるか、その個数を解答欄 に記せ。

- ・ 紫外線量が高くなるに伴い生存率が減少していることから、ピリミジン二量体は修復されないと細胞死の原因になる。
- ・ 1 回の瞬間的な可視光照射によっても非照射に比べ著しく生存率が高まったことから、光回復酵素は瞬間的な可視光照射でも二量体を切断し、修復したものと考えられる。
- ・ 30 分の可視光照射により大腸菌はほとんど死ななくなることから、ほとんどのピリミジン二量体が修復された可能性が考えられる。
- ・ 30 分の可視光照射により大腸菌はほとんど死ななくなることから、細胞内での光回復酵素数の増加が必須であると考えられる。

大腸菌にはヌクレオチド除去修復という DNA 損傷の修復機構があることを述べた。実はこの修復に関わる *uvrA* 遺伝子は DNA 損傷がないときには発現しないが、DNA 損傷が生じるとそれがシグナルとなって発現を誘導する SOS 応答と呼ばれる遺伝子発現調節を受けている。この SOS 応答はその調節に RecA と LexA という 2 つのタンパク質に関わる負の転写調節機構である (図 4)。

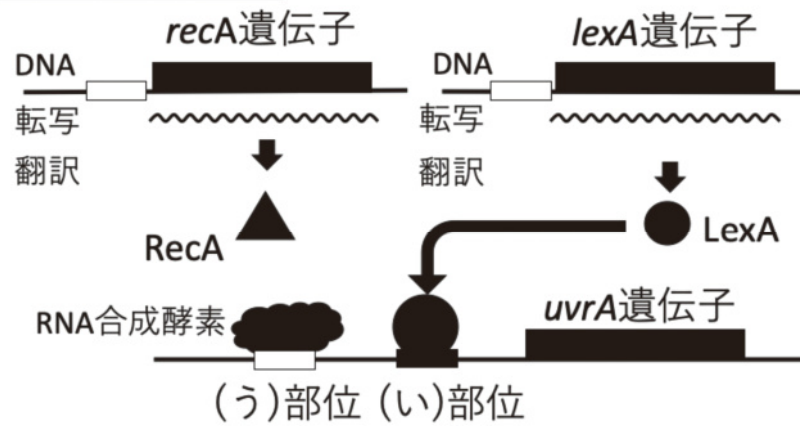
i) DNA 損傷がないとき：LexA タンパク質は (あ) としてヌクレオチド除去修復に関わる *uvrA* 遺伝子の (い) に結合し、RNA 合成酵素 (ポリメラーゼ) による転写を抑制する。

ii) 紫外線などにより DNA 損傷が生じたとき：DNA 損傷のシグナルを受けて RecA タンパク質が活性化され、LexA タンパク質の分解を促す。そのため、LexA タンパク質は (あ) としての機能を失い、ヌクレオチド除去修復に関わる遺伝子の転写抑制がなくなり、(う) に RNA 合成酵素 (ポリメラーゼ) が結合して転写を始める。

8. 上の文章の (あ) ~ (う) に入る適切な語句の組み合わせを下記から選び、解答欄 に記せ。

- a. (あ) リプレッサー, (い) プロモーター, (う) オペレーター
- b. (あ) リプレッサー, (い) オペレーター, (う) プロモーター
- c. (あ) 転写活性化因子, (い) プロモーター, (う) オペレーター
- d. (あ) 転写活性化因子, (い) オペレーター, (う) プロモーター

i) DNA損傷なし



ii) DNA損傷あり

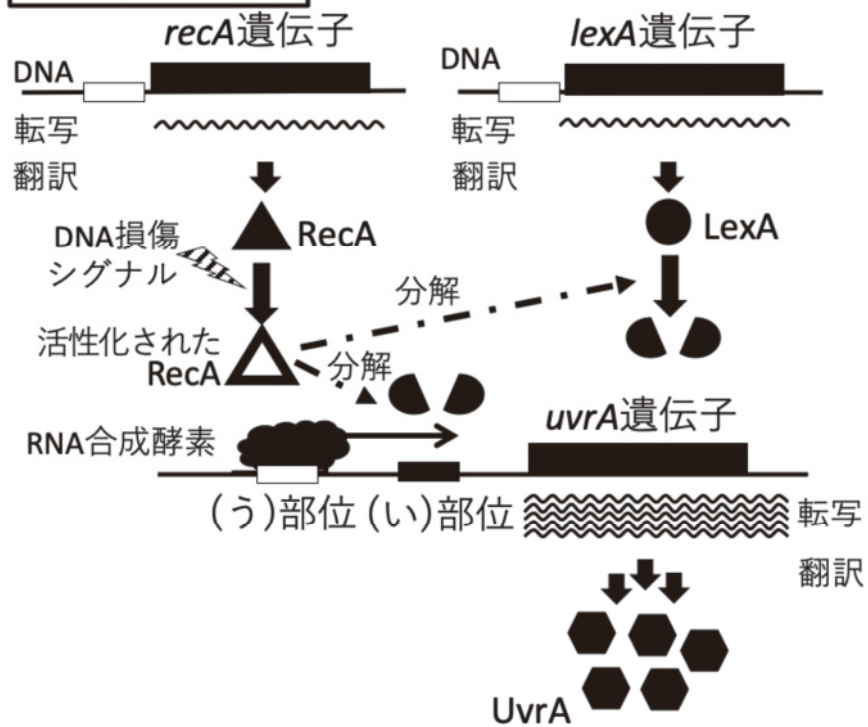


図 4. SOS 応答の調節機構

実験 3

紫外線を照射し、紫外線に高い感受性の変異体 UVS と紫外線に抵抗性の変異体 UVR を分離することができた。その感受性、抵抗性の獲得のメカニズムとして、SOS 応答の調節や除去修復に関わる突然変異が生じたのではないかと考え、野生型、UVS 変異体、UVR 変異体の大腸菌を培養して、ゲノム DNA を抽出し、PCR により *recA* 遺伝子、*lexA* 遺伝子、*uvrA* 遺伝子を含む DNA 断片をそれぞれ増幅した。それらの遺伝子をクローニングし、塩基配列を決定した結果、いずれの変異体も *recA* 遺伝子と *uvrA* 遺伝子の開始コドンから終止コドンまでの塩基配列には突然変異が見つからなかった。

9. 以下の様々な試薬のうち、実験 3 で行う PCR 反応、遺伝子クローニング、塩基配列決定を行うのに不要な試薬のみの組み合わせはどれか、下記から選んで解答欄 に記せ。

- a. プラスミド DNA, DNA 分解酵素, 制限酵素
- b. リボソーム, DNA 合成酵素 (ポリメラーゼ), ゲノム DNA (鋳型 DNA)
- c. プライマー, デオキシリボヌクレオシド三リン酸, DNA リガーゼ
- d. 転写因子, RNA 合成酵素, デオキシリボヌクレオシド一リン酸

10. 実験3の結果から考えられる考察として、適切なものはいくつあるか、その個数を解答欄 に記せ。

- ・ 変異体 UVS は、その *lexA* 遺伝子に変異が生じたため、変異 LexA タンパク質が、DNA 損傷により活性化された RecA タンパク質が働いても分解されず、*uvrA* 遺伝子の転写を抑制し続けたため、高い感受性を示した。
- ・ 変異体 UVS は、その *recA* 遺伝子のプロモーターに変異が生じたため転写されず、DNA 損傷があっても LexA タンパク質が分解されないため、*uvrA* 遺伝子の転写を抑制し続け、高い感受性を示した。
- ・ 変異体 UVR は、その *uvrA* 遺伝子のプロモーターに変異が生じたため、RNA 合成酵素が結合できず、常に *uvrA* 遺伝子の転写が高まり、高い抵抗性を示した。
- ・ 変異体 UVR は、その *lexA* 遺伝子に変異が生じたため、変異 LexA タンパク質が機能せず、常に *uvrA* 遺伝子の転写抑制がなくなり、高い抵抗性を示した。

(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.)

解答上の注意

1. 問題の文中の ア, イ などには, 特別の指示がない限り, 文字 (a ~ d) または数字 (0 ~ 9) のいずれか一つが入ります. それらを解答カードの解答欄にマークして答えて下さい.
2. 問題の文中の A, B などには, 記述式の解答が入ります. それらを解答カードの解答欄の枠からはみ出さないように, 明瞭に記入して下さい.
3. 分数形で解答する場合は, それ以上約分できない形で答えて下さい. 例えば, $\frac{2}{3}$ と答えるところを $\frac{4}{6}$ のように答えてはいけません.
4. 根号を含む形で解答する場合は, 根号の中に現れる正の整数が最小となる形で答えて下さい. 例えば, $6\sqrt{2}$, $\frac{\sqrt{17}}{3}$ と答えるところを, $3\sqrt{8}$, $\frac{\sqrt{68}}{6}$ のように答えてはいけません.

		ア	イ	ウ	エ	オ	カ	キ	ク	ケ	コ	サ	シ	ス	セ	ソ	タ	チ	ツ	テ	ト		
1つに マーク	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	A	
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	B
数 学	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	C	
		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	D
物 理	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	E	
		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	