

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」の合図があつてから正味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」の合図があつたら、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

リベラルアーツ予備校FORUM-ICU：当塾では国際基督教大学より正規の許可を得て、この入試問題を公開・利用しています。

(余 白)

目 次

数 学	2
物 理	8
化 学	24
生 物	38

数 学

PART I， PART II， PART III の問題がある。マークセンス方式の解答欄ア～ツを使って解答せよ。

PART I

微分可能な関数 $y = f(x)$ について考える。2つの実数 a, b に対して、 $0 < a < b$ とする。いま、 $f'(p) = \frac{f(b) - f(a)}{b - a}$ となるような実数 p (ただし、 $a < p < b$) を選ぶことができるか考えよう。もしこのような p が選べる場合は、いつも $0 < \frac{p - a}{b - a} < 1$ が成立している。

1. 例えば、 $f(x) = x^2$ のときは、そのような p は求めることができ、 $\frac{p - a}{b - a} = \frac{1}{\boxed{\text{ア}}}$ となる。

2. 次に、 $f(x) = x^3$ のときは、 $p = \sqrt{\frac{b^2 + ba + a^2}{\boxed{\text{イ}}}}$ と求まり、

$$\frac{p - a}{b - a} = \frac{1}{\boxed{\text{イ}}} \cdot \frac{b + \boxed{\text{ウ}}a}{\sqrt{\frac{b^2 + ba + a^2}{\boxed{\text{イ}}} + a}}$$

となるから、 $\lim_{b \rightarrow a} \frac{p - a}{b - a} = \frac{1}{\boxed{\text{エ}}}$ となる。

実は、 $y = f(x)$ が“滑らかな”関数であるならば、このような p はいつでも選ぶことができ、(この性質を満たす p が複数ある場合でも) どのように p を選んでも、 $f''(a) \neq 0$ ならば $\lim_{b \rightarrow a} \frac{p - a}{b - a} = \frac{1}{\boxed{\text{エ}}}$ となることを示すことができる。

リベラルアーツ予備校FORUM-ICU：当塾では国際基督教大学より正規の許可を得て、この入試問題を公開・利用しています。

(このページは空白です.)

PART II

3つの相異なる実数 $1, p, q$ (ただし, $p < q$) について考える. この3つの実数の並べ方をうまく選ぶことにより, この3つの実数の列は, 等比数列にも, 等差数列にもなり得るとする. このような p, q の組を求めよう.

まず, 公比 r が負であることを示そう. いま $r > 0$ とする. このとき, 等比数列になるという条件に着目すると, $\boxed{\text{オ}} < p (< q)$ である. ここで, $1, p, q$ を並べ替えて, 小さい順に並べたものを a, b, c とすると,

$$b^{\boxed{\text{カ}}} = ac, \boxed{\text{キ}} b = a + c \text{ より, } b = \frac{a+c}{\boxed{\text{キ}}} \geq (ac)^{\frac{1}{\boxed{\text{カ}}}} = b$$

したがって, $a = b = c$ となり, $1, p, q$ が相異なるという条件に反する. よって, $r < 0$ である.

また, $p > \boxed{\text{オ}}$ とすると, $q < \boxed{\text{オ}}$ となり $p < q$ に反するから, $p < \boxed{\text{オ}}$ となる.

以上より, 考えられるのは,

$$p < 0 < 1 < q$$

$$p < q < 0 < 1$$

$$p < 0 < q < 1$$

の3通りである. それぞれ p, q を求めると,

$$(p, q) = (-\boxed{\text{ク}}, \boxed{\text{ケ}}), (-\boxed{\text{コ}}, -\frac{1}{\boxed{\text{サ}}}), (-\frac{1}{\boxed{\text{シ}}}, \frac{1}{\boxed{\text{ス}}})$$

となり, いずれも条件を満たすことが確認できる.

リベラルアーツ予備校FORUM-ICU：当塾では国際基督教大学より正規の許可を得て、この入試問題を公開・利用しています。

(このページは空白です.)

PART III

一般に、空間における直線について考えよう。座標空間の原点を O とする。点 A を通り、 $\vec{0}$ でないベクトル \vec{d} に平行な直線を ℓ とする。直線 ℓ 上の点を B とすると、実数 t を用いて、 $\vec{OB} = \vec{OA} + t\vec{d}$ と表される。このとき、 t を媒介変数、 \vec{d} を直線 ℓ の方向ベクトルという。

2つの実数 m, n に対して、 $0 < n \leq 3$ とする。点 $C(\frac{m}{n}, 0, (m-1)(n-3))$ を通り、方向ベクトルが $\vec{d} = (0, n^3, n-3)$ であるような直線を L とする。この直線 L が z 軸と交わるのは $m = \boxed{\text{セ}}$ のときである。いま m が実数全体を動くとき、方向ベクトル \vec{d} は変わらないので、この直線 L は平面をなす (図1)。この平面を S とする。この平面 S が z 軸と垂直に交わるのは $n = \boxed{\text{ソ}}$ のときである。

そこで、 $n \neq \boxed{\text{ソ}}$ のとき、平面 S と x 軸、 y 軸、 z 軸の交点をそれぞれ P, Q, R とする。立体 $OPQR$ の体積が最大となるのは $n = \boxed{\text{タ}}$ のときで、その値は $\frac{\boxed{\text{チ}}}{\boxed{\text{ツ}}}$ である。

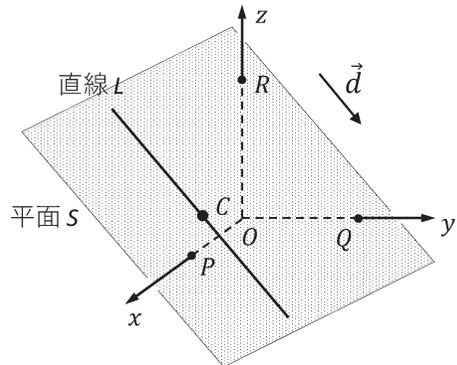


図1: $n \neq \boxed{\text{ソ}}$ のとき

リベラルアーツ予備校FORUM-ICU：当塾では国際基督教大学より正規の許可を得て、この入試問題を公開・利用しています。

(このページは空白です.)

物 理

PART I， PART II， PART III の問題がある．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， B を使って解答せよ．

PART I

直流の電気回路では，加えられた「電圧」を回路に流れ込む「電流」で割った値を「抵抗」と定義する．いわゆる「オームの法則」である．これに対して，交流回路では，「抵抗」に代わる物理量として，「インピーダンス」を定義し，この物理量を用いることで，その瞬間における「オームの法則」が成り立つと考える．

ここでは，交流電圧の周波数 f とインピーダンス Z の関係を表すグラフ（以下，インピーダンス曲線とよぶ）を考えることにする．最初に，図 1 に示すように，交流電源に，電流計と未知の値を持つ抵抗が直列につながれた回路を考える．ここで未知の抵抗 R のインピーダンス Z_R を式（1）のように表す．

$$Z_R = R \quad (1)$$

この場合 Z_R は周波数の変化に対して一定値を示すため，インピーダンス曲線は，図 2 のように示すことができる．

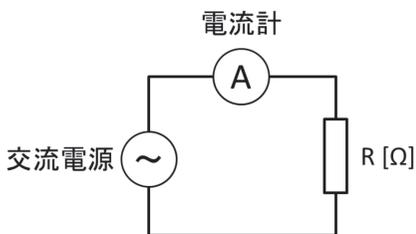


図 1

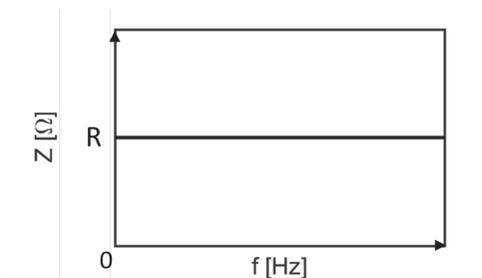


図 2

次に、図3に示すようにコンデンサーが1個つながれた回路を考える。

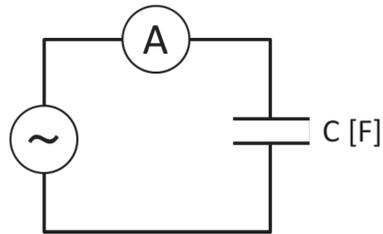


図3

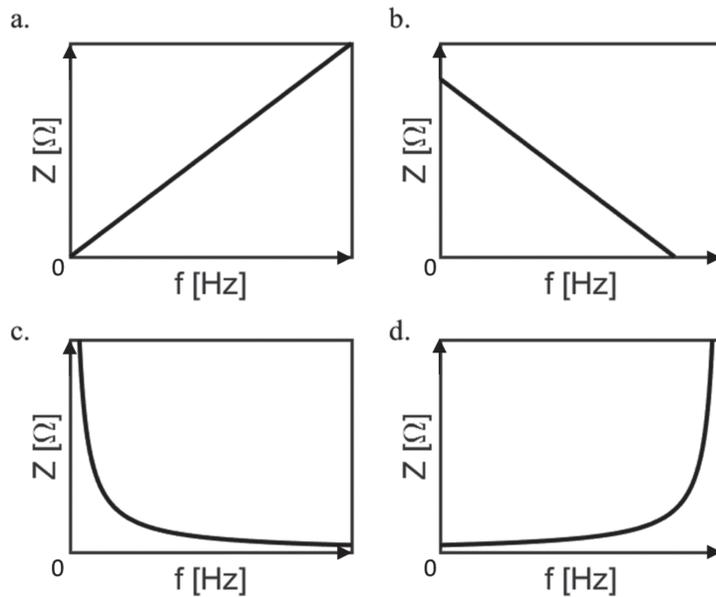
一般的にコンデンサーのインピーダンス Z_C は、式(2)のように表す。

$$Z_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad (2)$$

Z_C はコンデンサーのリアクタンスとよばれることもある。

1. 図3に示した回路のインピーダンス曲線の概形として最も適切なものを次から選び、解

答欄 に記せ。



さらに、図4に示すようにコイルが1個つながれた回路を考える。

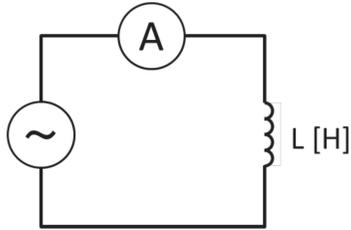


図4

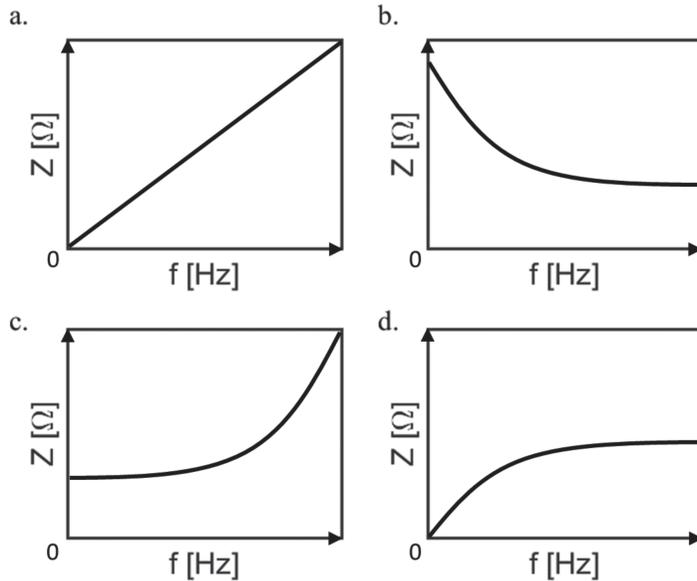
一般的にコイルのインピーダンス Z_L は、式(3)のように表す。

$$Z_L = 2\pi fL \quad (3)$$

Z_L はコイルのリアクタンスとよばれることもある。

2. 図4に示した回路のインピーダンス曲線の概形として最も適切なものを次から選び、

解答欄 に記せ。



もう少し複雑な回路を考える。図5に示すように、コイルと抵抗が直列につながれた回路を考える。この回路のインピーダンス曲線を考える際に、コイルと抵抗が直列につながれた回路のインピーダンスを計算すれば求めることができる。しかし、ここでは周波数が低い場合と高い場合の、極端な場合を考えることにより、大まかにインピーダンス曲線を推測する手法を推奨する。

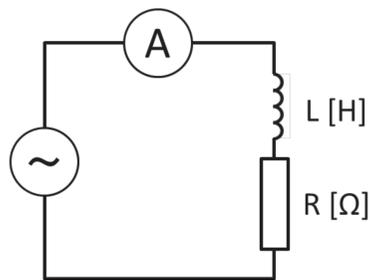
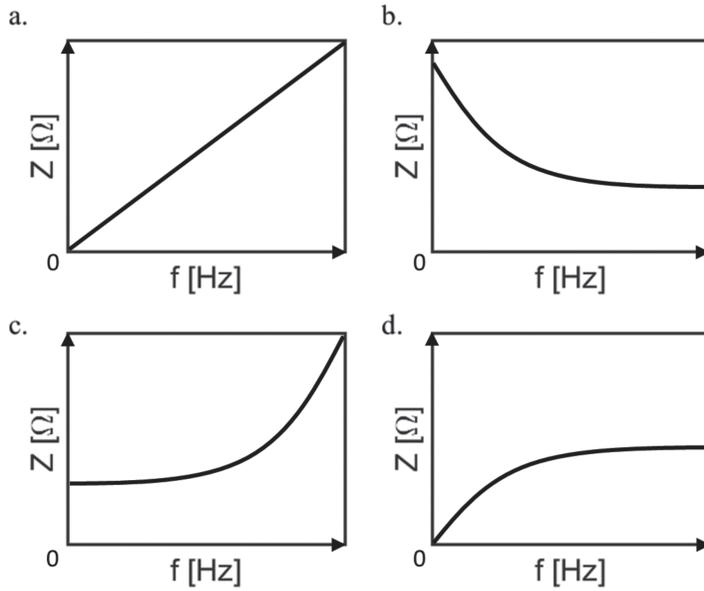


図5

つまり、周波数が低い場合（極端な場合として直流）を考えると、抵抗のインピーダンスは R なのに対して、コイルのインピーダンスは 0 に近づくため、回路のインピーダンスは R に近づく。この考え方を周波数の高い場合にも適用すると、インピーダンス曲線を推測することができる。

3. 図5に示したコイルと抵抗が直列につながれた回路のインピーダンス曲線の概形として、最も適切なものを次から選び、解答欄 に記せ。ただし、 R および L は 0 ではないとする。



次に、図6に示すように、コンデンサーと抵抗が並列につながれた回路のインピーダンス曲線を考える。ここでも、周波数が極端に低い場合と高い場合を考えることにより、大まかにインピーダンス曲線を推測する手法を利用することにする。

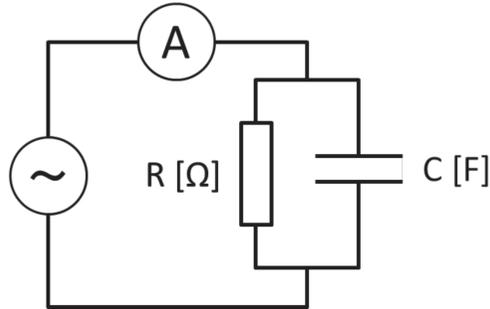
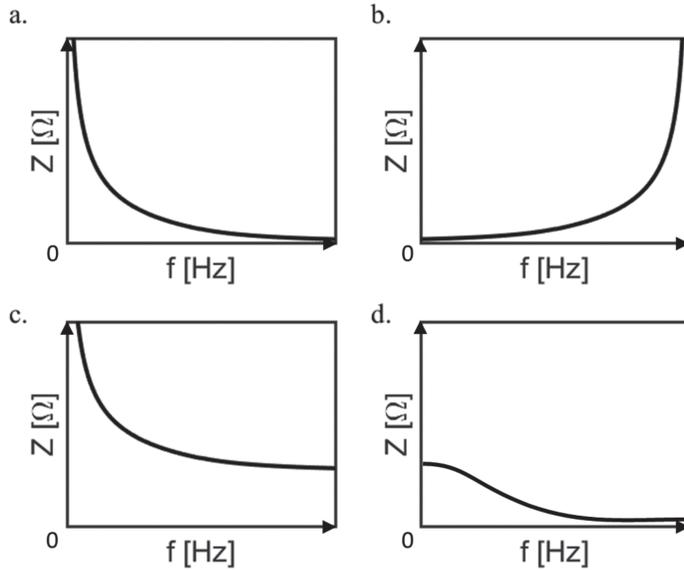


図6

4. 図6に示したコンデンサーと抵抗が並列につながれた回路のインピーダンス曲線の概形として、最も適切なものを次から選び、解答欄 に記せ。ただし、 R および C は 0 ではないとする。



さらに、実際の回路を使ってインピーダンスを測定した場合、前述した式(1)から(3)を利用することで、回路の接続方法(たとえば、直列や並列)、部品の値(抵抗なら何オーム $[\Omega]$ 、コンデンサーなら何ファラッド $[F]$ 、コイルなら何ヘンリ $[H]$)を大まかに推測することが可能である。ただし、部品自体の精度、測定に用いる機器の精度、測定方法などにより、実測された部品の値と、部品に表示されている値が必ずしも一致しないこともある。

5. 抵抗、コンデンサー、コイルのうち2個の部品を用いた回路のインピーダンスを測定したところ、図7に示すような結果が得られた。この場合の回路図(ただし、交流電源、電流計は除く)を解答欄 に記せ。なお、部品のつなぎ方が正しければその向きは問わない。

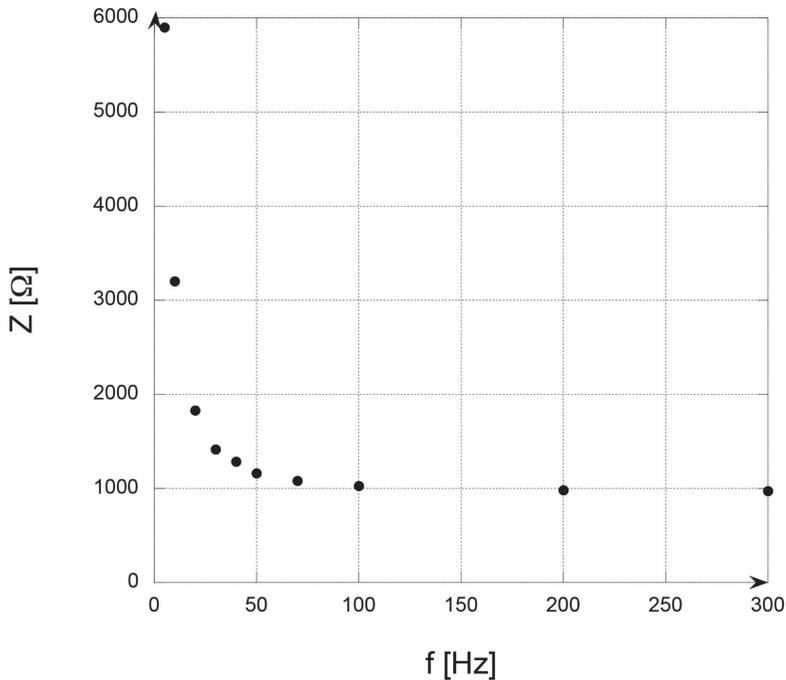


図7

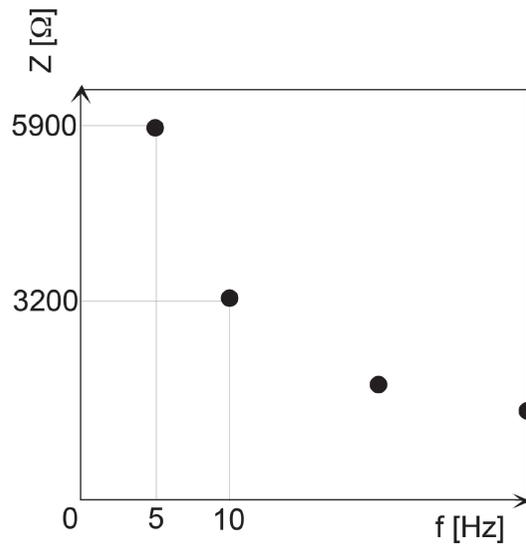


図7の拡大図

6. さらに、上に示した、図7の低い周波数部分を拡大した図も参考にして、2個の部品の値を推測しよう。2個の部品のうち一方の部品の値として最も適切なものをグループ1から選び、解答欄 に、もう一方の部品の値として最も適切なものをグループ2から選び、解答欄 に、それぞれ記せ。

グループ1

- a. 1 kΩ
- b. 0.1 μF
- c. 1 mH
- d. 4 H

グループ2

- a. 2 kΩ
- b. 0.2 μF
- c. 5 μF
- d. 2 H

PART II

わたしたちの生活の中で「摩擦」はとても身近なものである。車が止まるときも進むときにも摩擦は重要であり、スケートでは蹴る足は大きい摩擦で体が進むように、そして滑っている足ではなるべく摩擦を小さくする技術が大切になる。野球のカーブボールも広い意味で、空気とボールが摩擦を起こして曲がる。様々な形の摩擦があるが、摩擦は用いられる物質やその形状、また表面の性質などで大きくその振舞いを変える非常に複雑なものである。

図8のようにテーブルの上にテーブルクロスが、その上にグラスが乗っている状態のとき、テーブルクロスを(十分)勢いよく引くとグラスをテーブルに残したまま、テーブルクロスだけ引き抜ける。面白そうだが、グラスを壊してしまいそうで、怖くて家ではなかなかできない。成功するための秘訣はなんなのであろう？ 少し「テーブルクロス引き」と摩擦について考察をしてみよう。

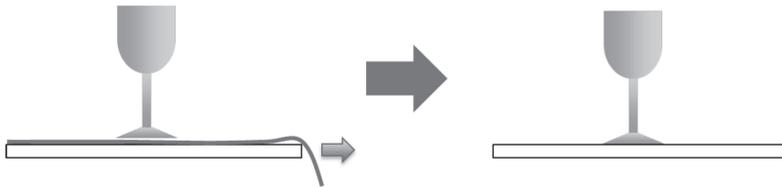


図8

まず、グラスがテーブルから落ちない前提条件として、「グラスはテーブルクロスと一緒に動いてこない」つまり、グラスがテーブルクロス上で滑る必要がある。テーブルクロスを引いたときのテーブルクロスの速度変化を図9に示す。グラスの質量を 100 g、底面積を 25 cm²、テーブルクロスとグラスの静止摩擦係数 $\mu_s = 0.2$ 、動摩擦係数 $\mu_k = 0.1$ 、重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 、テーブルクロスはテーブルと同じ高さで水平にまっすぐ引っ張るとする。

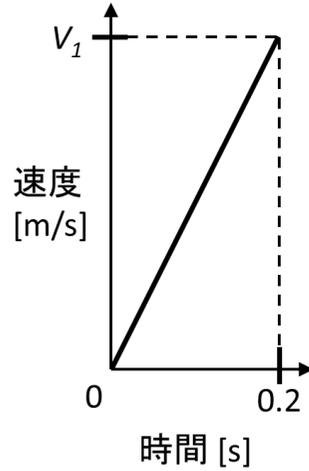


図9

7. グラスをテーブルクロスから滑らすために必要な加速度を得るための V_1 の最低値について最も適切なものを下から選び、解答欄 に記せ。

- a. 0.2 m/s
- b. 0.4 m/s
- c. 1 m/s
- d. 2 m/s

8. 次に底面積が 50 cm^2 の同一素材のグラスを用いて同じ実験を行った。以下の中から V_1 の最低値の記述として最も適切なものを選び、解答欄 に記せ。

- a. グラスの質量を 0.5 倍にすると V_1 の最低値も 0.5 倍になる。
- b. グラスの質量を 2 倍にすると V_1 の最低値は 0.5 倍になる。
- c. どのようなグラスの質量でも同じ V_1 の最低値が得られる。
- d. どのようなグラスの質量でも同じ V_1 の最低値は得られない。

9. さらに、問 7 と同じグラス（質量 100 g 、底面積 25 cm^2 ）を使い、同じ実験を重力加速度が 2.0 m/s^2 の月で行ったとしよう。このとき、 V_1 の最低値について最も適切なものを下から選び、解答欄 に記せ。

- a. V_1 の最低値は問 7 の場合の 0.2 倍になる。
- b. V_1 の最低値は問 7 の場合の 0.5 倍になる。
- c. V_1 の最低値は問 7 の場合と変わらない。
- d. V_1 の最低値は問 7 の場合の 5 倍になる。

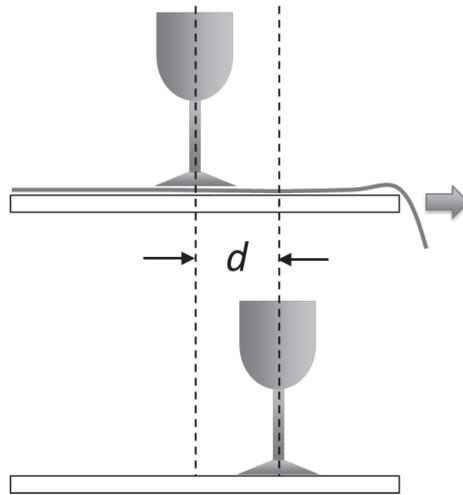


図 1 0

$V_1 = 4.0 \text{ m/s}$ になるように引っ張ったとき、「テーブルクロス引き」が成功した！ 図 1 0 のようにグラスは元の位置から距離 d だけずれた。テーブルクロスはちょうど 0.2 秒のときにグラスの底から抜け、その後グラスは滑らず倒れることもなかった。また、テーブルクロスの長さはグラスの底面（丸底）の直径よりも十分長いとする。

10. グラスのずれた距離 d に関して最も適切なものを下から選び、解答欄 に記せ。

- a. 2 cm
- b. 4 cm
- c. 20 cm
- d. 40 cm

PART III



図 1 1

ほうきを手の上に立てて乗せ、バランスを保つ図 1 1 のようなゲームを皆さんやったことがあると思う。ほうきがのっている手を動かさずにいると、少しでも傾いた方向にほうきはすぐ倒れてしまう。次の問題では台の上ののった棒のバランスとそのときの摩擦の役割について考える。

図 1 2 のように水平な台の上で棒を角度 θ ($0^\circ < \theta < 90^\circ$) にして支えたとする。手を離すと棒は倒れてしまうが、棒の重心につけたひもを水平方向に引っ張ることにより、棒と台との角度 θ を保持したい。棒と台には摩擦があり、棒の質量を m 、棒の長さを h 、重力加速度を g 、棒と台の静止摩擦係数を μ_s とし、棒の太さは考えないものとする。

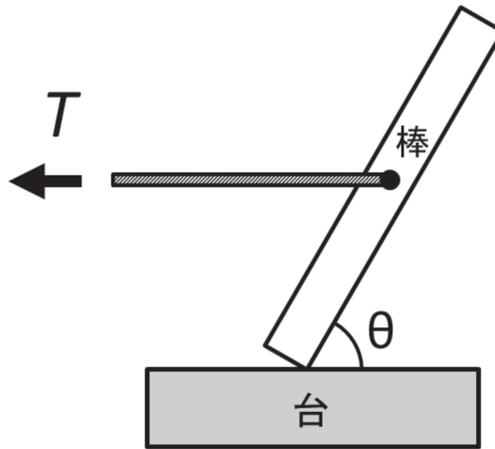


図 1 2

11. 棒を同じ角度に保持するために必要なひもを引く力 T を求め、解答欄 に記せ.

12. 棒の傾きが大きいと、棒は台から滑り出してしまう。これを防ぐための μ_s と角度 θ の関係を以下から選び、解答欄 に記せ.

a. $\mu_s \geq \sin \theta \cos \theta$

b. $\mu_s \geq \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$

c. $\mu_s \geq \frac{\cos \theta}{\sin \theta}$

d. $\mu_s \geq \frac{\sin \theta \cos \theta}{1 - \sin \theta \cos \theta}$

次に図13のように、ひもを引っ張る方向を水平方向ではなく、棒に対して垂直方向に力 T' で引っ張った。

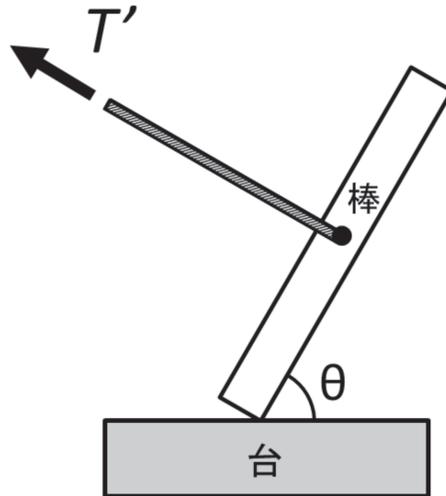


図13

13. 問12同様に棒が滑りださないための μ_s と角度 θ の関係式を以下から選び、解答欄

に記せ.

a. $\mu_s \geq \sin \theta \cos \theta$

b. $\mu_s \geq \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$

c. $\mu_s \geq \frac{\cos \theta}{\sin \theta}$

d. $\mu_s \geq \frac{\sin \theta \cos \theta}{1 - \sin \theta \cos \theta}$

リベラルアーツ予備校FORUM-ICU：当塾では国際基督教大学より正規の許可を得て、この入試問題を公開・利用しています。

(このページは空白です。)

化 学

PART I，PART II，PART III，PART IV の問題がある。マークセンス方式の解答欄ア～チおよび記述方式の解答欄 A, B を使って解答せよ。

必要であれば次のデータを用いなさい。

原子量 水素：1，リチウム：7，炭素：12，酸素：16，塩素：35.5，コバルト：59

PART I

中心となる金属イオンに、非共有電子対を持つ分子や陰イオンが配位結合することによって、錯イオンが形成されるが、中心の金属イオンの種類、価数によって、配位数や構造は変化する。たとえば、1価の銀イオンの場合、配位数は2で直線型の錯イオンを形成する。

- 以下にあげる組み合わせのうち、金属イオンの種類、配位数、構造を正しく表しているものを選び、解答欄 に記せ。
 - Fe^{3+} ：配位数4：正方形
 - Zn^{2+} ：配位数4：正方形
 - Fe^{3+} ：配位数6：正八面体形
 - Zn^{2+} ：配位数6：正八面体形

錯イオンの中に含まれる配位子は1種類とは限らず、複数の種類の配位子が配位することがある。この場合、配位子の数と、位置関係によって、位置異性体が発生する場合がある。たとえば、正方形構造をとる Pt^{2+} イオンの場合、配位子が全て NH_3 であれば、1種類の錯イオンとなる。また、3つの配位子が NH_3 で、1つが Cl^- のときも、錯イオンは1種類である(図1)。



図1

一方、2つの配位子が NH_3 で、残り2つの配位子が Cl^- の場合、シス-トランスの位置異性体が存在する(図2)。1つの配位子が NH_3 で、3つが Cl^- のときも、錯イオンは1種類となる。なお、配位子の電荷と数によっては、全体の電荷が中性となる場合もあり、その場合は錯体とよばれる。

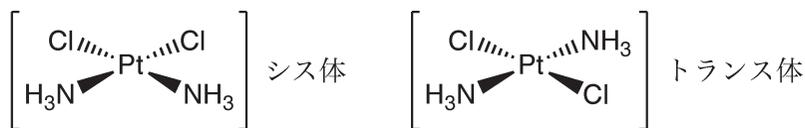


図2

2. 配位数が6で、正八面体構造をとる Co^{3+} を中心イオンとした錯イオン、または錯体で、配位子が NH_3 と Cl^- の場合、それぞれの配位子の数が下表のように変化したとき、異性体の数を考え、その数字を解答欄 ～ に記せ。なお、異性体が存在しない場合は、1を記入せよ。

NH_3 の数	1	2	3	4	5
Cl^- の数	5	4	3	2	1
異性体の数	<input type="text" value="イ"/>	<input type="text" value="ウ"/>	<input type="text" value="エ"/>	<input type="text" value="オ"/>	<input type="text" value="カ"/>

AgCl は水に溶けにくい塩であり、白色の沈殿を生じる。一方、このけん濁液に濃アンモニア水を加えると、沈殿が溶解する。これは錯イオン $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ の形成によって、 Ag^+ の濃度が小さくなり、AgClの溶解度積より小さくなったためと考えることができる。 1.0×10^{-3} molのAgClを100 mLの水にけん濁させた溶液に、濃アンモニア水を加えたところ、全てのAgClの沈殿が溶解した。平衡に達したときの NH_3 の濃度は0.20 mol/Lであった。

なお、 $\text{Ag}^+ + 2 \text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ の反応式の平衡定数は $1.7 \times 10^7 \text{ L}^2/\text{mol}^2$ である。

3. 平衡状態における溶液中の Ag^+ の濃度を計算し、単位とともに解答欄 に記せ。

PART II

元素分析は化合物の純度を決定する重要な分析方法である。C, H, Oのみからなる固体の有機化合物の場合、質量を正確に量り、完全に燃焼させたのち、生成した H₂O と CO₂ の重量より組成式を求めることができる。なお、実際の分析結果は、測定した試料中に質量比で、炭素が何%、水素が何%含まれる、という形で得られる。測定値を理論式から求めた質量比と比較し、±0.3%のずれまでであれば一致したとみなし、それ以上のずれは測定した物質の純度が低いとされる。

4. 分子式 C₇H₁₄O₂ で示される有機化合物の元素分析の理論値を求め、各々四捨五入して小数第一位までの概数で求めよ。「C:○○.○%;H:××.×%」の形式で解答欄 に記せ。

元素分析の測定結果と理論値が合わなかった場合、何が不純物として含まれるかを考え、その不純物を含めた組成式で理論値を計算しなおし、測定値と一致するかどうかを確かめることがある。その後、適切な方法を用いてさらに精製を重ねて純度を上げて、再測定を行う。多くの場合、合成や精製の際に用いた有機溶媒が不純物として含まれる。

5. 分子式 C₁₃H₂₈O で表される目的分子の元素分析を行ったところ、C:82.0%;H:12.3%となり、理論値からともに0.3%以上ずれていた。他の分析手段によって、使用した溶媒分子が不純物として、目的分子1分子に対して1分子ずつ含まれることがわかった。この不純物を以下の中から選び、解答欄 に記せ。
- a. ジクロロメタン (CH₂Cl₂)
 - b. クロロホルム (CHCl₃)
 - c. ベンゼン (C₆H₆)
 - d. アセトン (C₃H₆O)

6. 元素分析で明らかになるのは、化合物の組成式であり、分子式そのものはわからない。そのため、元素分析だけではなく、その他の分析方法によって分子式を推定する必要がある。以下に示す物質の測定値のうち、適切に用いることによって、元素分析の結果とあわせて分子式が推定できるものを選び、解答欄 に記せ。ただし、用いる化合物は溶解した際に解離しないものとする。
- a. 浸透圧
 - b. 融解熱
 - c. 比熱
 - d. 密度

PART III

充電電池は、放電のみができる一次電池と違い、充電により電気を蓄えることができる。携帯電話やノートパソコン、タブレットなど多くのモバイル機器の電源には、充電電池としてリチウムイオン電池が使われている。

リチウムイオン電池の概略を図3に示す。正極にコバルト酸リチウム (LiCoO_2)，負極に黒鉛 (グラファイト，C)，電解質としてリチウム塩含有溶液が用いられることが多い。

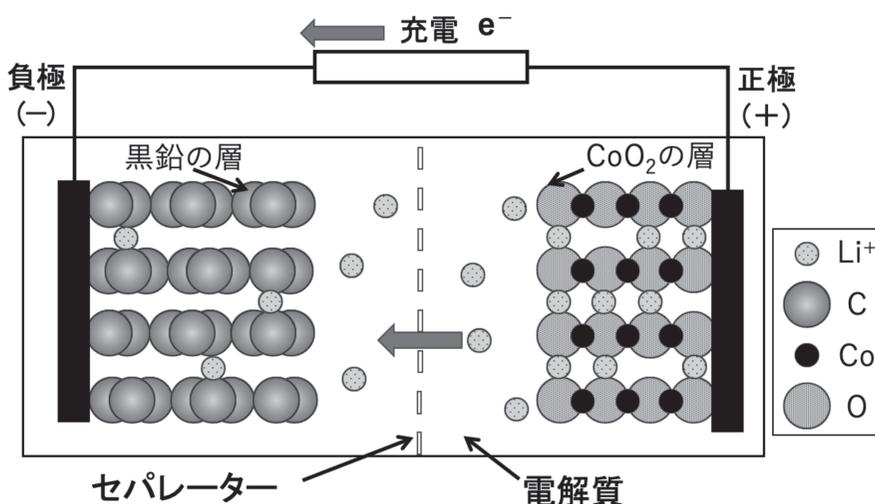
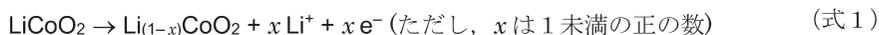


図3

充電の仕組みを見よう。正極で使われる LiCoO_2 は、 CoO_2 が層状構造をとっており、その層の中の酸素原子の間に Li 原子が挿入されている構造である。次に充電時の化学反応を示す。



Li^+ が LiCoO_2 からほぼ全て放出されると、 LiCoO_2 の構造が不安定になり、リチウムイオン電池の性能劣化の要因となる。このように化合物には原子数の比を簡単な整数の比で表せないものがあり、その場合は x や 1 未満の正の数を用いて割合を表す。

LiCoO_2 から Li^+ が放出されると、同じ量のコバルトイオンが酸化される。

7. 上記のようにコバルトイオンが酸化されるとき、酸化される前のコバルトイオンの酸化数を解答欄 に、酸化された後の酸化数を解答欄 に記せ。

次に負極材料である黒鉛に注目しよう。黒鉛も層状構造をとっており、層内において炭素原子同士が によりつながっているが、層と層の間は により結ばれている。リチウムイオン電池の充電時には、層の間に Li^+ が進入し、以下の反応が起こる。



したがって電池全体では、



となり、充電時には正極の LiCoO_2 中の Li^+ の一部が負極の黒鉛の層の間に移動して吸蔵される。

8. 空欄 , に当てはまる語句の正しい組み合わせを選び、解答欄 に記せ。
- a. R: イオン結合 S: 水素結合
b. R: 共有結合 S: ファンデルワールス力
c. R: 共有結合 S: 水素結合
d. R: イオン結合 S: ファンデルワールス力

9. (式3) から、正極の LiCoO_2 では mol の CoO_2 に対して 1 mol の Li^+ が存在し、負極では、炭素原子 個あたり、1 個の Li^+ が存在するような LiC_6 ができる。上記の , に当てはまる正しい数字を解答欄 , に記せ。

総質量 1 kg (正極と負極のみ、セパレーターや電解液をのぞく) あたりの電極に最大量蓄えられる理論的な電気量を理論容量といい、(Ah/kg) の単位で表す。また、電池の貯蔵エネルギーは、正極-負極間に生じる電位差 (起電力: 単位(V)) と理論容量の積で、(Wh/kg) の単位で表す。

(補足説明) 私たちは、電気エネルギーを他のさまざまなエネルギーに変換して利用している。一般的に電気エネルギーを消費するものを負荷という。負荷にかかっている電圧を V (ボルト: 単位(V)), 流れている電流を I (アンペア: 単位(A)), 電流を流す時間を t (秒: 単位(s)) とすると、消費される電気エネルギーはこれら 3 つの積として、電力量として表せる。また、負荷が単位時間に消費する電力量を消費電力 P (ワット: 単位(W)), あるいは電力といい、

$$P(\text{消費電力}) = V(\text{電圧}) \times I(\text{電流})$$

のように表せる。電力量の実用的な単位として 1 W の電力を 1 時間(h)使った際の消費するエネルギーである 1 ワット時(1 Wh)を使うことが多い。

10. 正極と負極あわせて 1 mol に相当する総質量 170 g の電極でリチウムイオン電池を作ったとする。このリチウムイオン電池の貯蔵エネルギーの値として最も近いものを選び、解答欄 に記せ。ただし、リチウムイオン電池の標準起電力は 3.8 V、電子 1 mol の電気量は 27 Ah とする。ちなみに、日常でよく使われている単 3 型アルカリ乾電池の 1 本の貯蔵エネルギーはおおよそ 36 Wh/kg といわれている。
- a. 600 Wh/kg
 - b. 900 Wh/kg
 - c. 1500 Wh/kg
 - d. 2000 Wh/kg

リチウムイオン電池の正極と負極にそれぞれコバルト酸リチウムと炭素材料を用いることによって、リチウムイオン電池の安全性という問題を解決し、実用化に至った。リチウムイオン電池の開発への貢献に対して、2019 年のノーベル化学賞がジョン・グッドイナフ、スタンリー・ウィッティンガム、吉野彰の三氏に贈られた。

(出典) 白田昭司, 「リチウムイオン電池回路設計入門」, 日刊工業新聞社 (2012)

PART IV

活性炭は冷蔵庫や部屋の不快なおいをとりのぞく代表的な物質の一つである。活性炭の表面は疎水性で、たくさんの小さい穴（細孔）があるため、細孔よりも小さく、極性のない有機分子を吸着しやすい。この性質を利用して、活性炭は脱臭や水質浄化などに利用される。このように原子や分子が物質の表面に付着する現象を吸着という。また、吸着された原子や分子が、その物質の表面から離れることを脱着という。吸着される分子や原子は、吸着点という場所で吸着される。吸着点は、活性炭などの吸着剤の表面に存在する単一の原子または複数の原子団からなる。

さて、気体の吸着・脱着現象の平衡状態について考えてみる。A はにおい分子などの気体分子、M は吸着点である。また、AM は気体分子が吸着点に吸着された状態を表す（図4）。

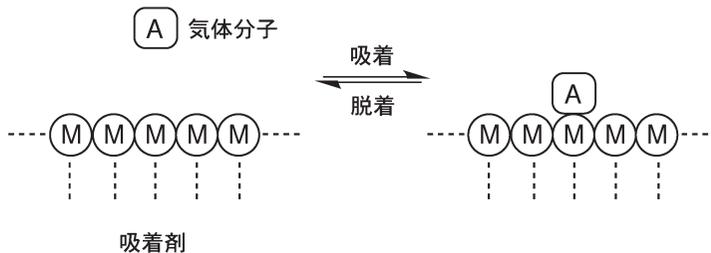


図4

すると、吸着・脱着現象の平衡状態は、通常の平衡反応の化学反応式のように、次に示す反応式で書き表すことができる。



ここで、 $[M]$ を気体分子が吸着されていない吸着点の数、 $[AM]$ は気体分子が吸着されている吸着点の数（=吸着した分子の数）、 $[M]_0$ は吸着点の総数（吸着できる分子の最大数）とすると、以下の式が成り立つ。

$$[AM] + [M] = [M]_0 \quad (\text{式5})$$

吸着剤の表面上に存在する全ての吸着点のうち、気体分子がどのくらい吸着されているかを表す尺度として、表面被覆率(θ)を次の式で定める。

$$\theta = \frac{[AM]}{[M]_0} \quad (\text{式6})$$

このとき、

$$[AM] = [M]_0 \theta \quad (\text{式7})$$

が成り立ち、

吸着・脱着現象の平衡状態での平衡定数は、(式4) から

$$K_a = \frac{[AM]}{[A][M]} \quad (\text{式8})$$

となる。そして、気体Aの圧力を p とすると、 $[A]=p$ の関係になる。

11. 図5は(式8)を θ で書きなおした式(ラングミュア吸着等温式とよぶ)をもとに、横軸に圧力(p)を、縦軸を表面被覆率(θ)で表したグラフである。このグラフが与える式として最も適しているものを選び、解答欄 に記せ。ただし、 $K_a = 1 [1/\text{atm}]$ である。

- a. $\theta = \frac{1+K_a p}{K_a p}$
 b. $\theta = \frac{1-K_a p}{K_a p}$
 c. $\theta = \frac{K_a p}{1-K_a p}$
 d. $\theta = \frac{K_a p}{1+K_a p}$

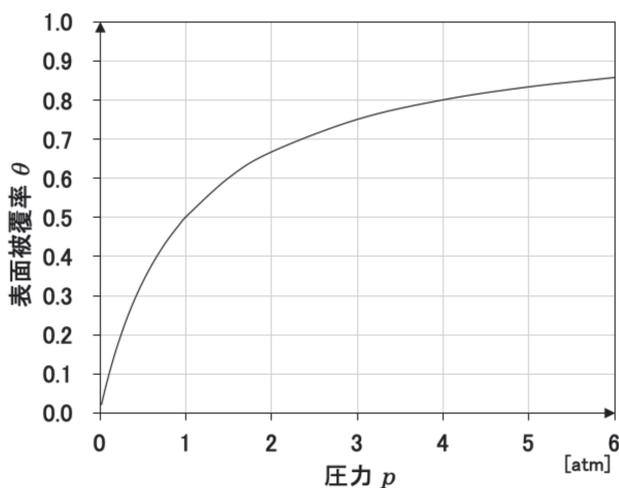


図5

12. 図6はある仮想的な気体に関する表面被覆率と圧力との関係の温度依存性を表す。ラングミュア吸着等温式についての下記の記述のうち、正しい記述はいくつあるかを考え、その数を解答欄 に記せ。

(ア) 温度が 100 K のとき、 p を上げれば、 θ は 1 よりも大きくなる。

(イ) $p = \frac{1}{K_a}$ になると θ は 0.5 になる。

(ウ) p が一定のときに、温度が上がれば、 K_a は減少する。

(エ) p が一定のときに、温度が上がれば、 θ は増加する。

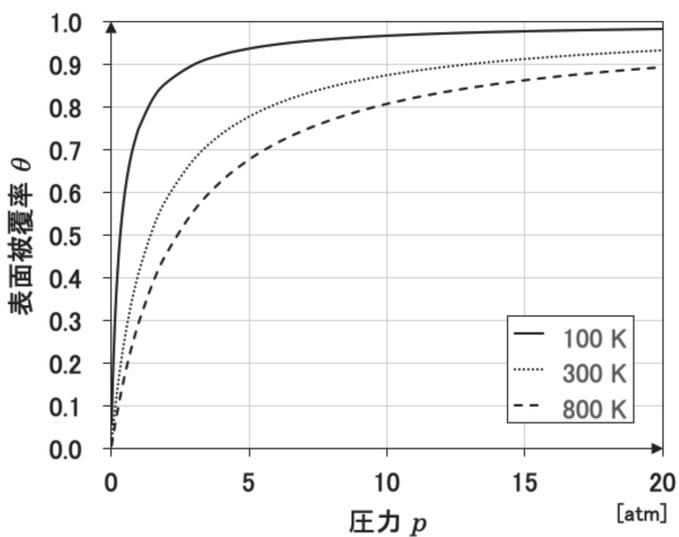


図6

活性炭によるCOの表面被覆率を推定するために、以下のような実験を行う。まず、何も吸着していない活性炭と、COを含む混合気体を容積一定の容器に入れ、温度を一定に保つ。なお、この実験では、COのみが活性炭に吸着されるとする。また、COが活性炭に吸着されると、混合気体中のCOの分圧が減少し、熱運動して容器の壁に衝突する気体分子の数が減り、容器内の圧力が低下するため、圧力が一定となるようにCOを容器外部から流入させる。これにより、COの分圧も一定に保つことができる。平衡状態に達するまでに流入させたCOの量(標準状態に換算した体積 V)が、活性炭に吸着されたCOの量に等しくなる。実験に用いた活性炭に吸着されうるCOの最大量を V_{\max} とすると、活性炭の被覆率 θ は次の(式9)で表せる。

$$\theta = \frac{\text{吸着されたCOの量}}{\text{吸着されうるCOの最大量}} = \frac{V}{V_{\max}} \quad (\text{式9})$$

しかし、実際に測定できるのは「吸着されたCOの量(V)」だけであり、「吸着されうるCOの最大量(V_{\max})」はわからない。そのため、被覆率 θ は直接には測定できないことが理解できる。実際は、ラングミュア吸着等温式と(式9)により、(式10)が導かれる。

$$\frac{p}{V} = \frac{p}{V_{\max}} + \frac{1}{K_a V_{\max}} \quad (\text{式10})$$

COを含む混合気体を標準状態に保つ。様々なCOの分圧 p において活性炭(1g)に対するCOの吸着量 V を測定し、横軸を p 、縦軸を $\frac{p}{V}$ にして、プロットすると図7の白丸で示す結果が得られ、この結果を直線で近似すると図7の直線が得られた。この直線は(式10)によって表されると考えられるため、傾き($\frac{1}{V_{\max}}$)と切片($\frac{1}{K_a V_{\max}}$)の情報から、 K_a と V_{\max} が求められる。

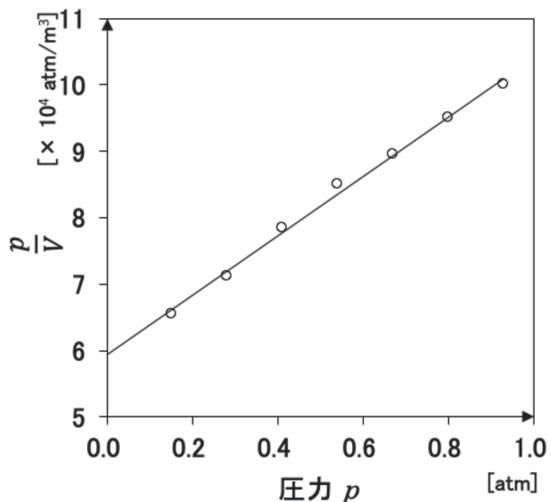


図7

13. (式10)を利用して図7の結果を解析したところ、標準状態における V_{\max} は 2.24×10^{-2} L であることがわかった。この結果から、COが最大量吸着されたときに占める活性炭 1 g あたりの表面積(比表面積(m^2/g))として最も近いものを選び、解答欄 に記せ。ただし、吸着されたCOの1分子が表面上を占有する面積は $1.5 \times 10^{-19} \text{ m}^2$ とする。
- a. 0.9
 - b. 9
 - c. 90
 - d. 900

リベラルアーツ予備校FORUM-ICU：当塾では国際基督教大学より正規の許可を得て、この入試問題を公開・利用しています。

生 物

PART I， PART II の問題がある。マークセンス方式の解答欄ア～セおよび記述方式の解答欄 A～D を使って解答せよ。

PART I

ある一定の地域に生息する同種個体の集まりを個体群という。個体群を構成する個体の分布は、その生物の個体間相互作用、種間関係、非生物的環境などに応じてさまざまな様式がみられる。主な個体の分布様式は、集中分布、一様分布、ランダム分布の3つである。

1. 上記の一様分布はどのようなときに見られるか、最も適切な記述を選び、解答欄 に記せ。
- a. 植物の発芽や成長に適した土壌が局所的に存在するとき
 - b. 個体同士が引きつけあったり、微小な非生物的環境に群がったりするとき
 - c. 風により散布された種子が発芽・成長したとき
 - d. 植物において他個体の発芽や成長を妨げる物質が分泌されるとき

個体群において、一定の面積や体積などの単位生活空間あたりの個体数を個体群密度という。個体群を構成する個体数を推定する1つの方法に区画法がある。区画法では、生息地域に一定の広さの区画をつくり、その中の個体数を数えて、得られた結果から地域全体の個体数を推定する。大学構内にある、ひと続きの広大な草原に生息するある種の昆虫の個体数を推定するため、捕獲実習を行った。草原内にそれぞれが十分に離れた場所に、縦横 90 m の正方形の区画を3箇所用意した。それぞれの区画から、目的とした昆虫を 292, 324, 314 個体捕獲した。草原全体の面積は $5 \times 10^5 \text{ m}^2$ である。

2. 上記の草原全体に生息するこの昆虫の個体数を上から1桁の概数で求めよ。これを以下のように表したとき、 と に入る適切な数字を解答欄 , にそれぞれ記せ。

$$\boxed{\text{イ}} \times 10^{\boxed{\text{ウ}}}$$

たとえば、292 個体の場合 $\times 10^{\boxed{2}}$ と表す。

個体群を構成する個体数を調べる別の方法として、標識再捕法がある。この方法では、捕獲したすべての個体に標識をつけた後、再び同じ場所に分散した後、再び同様の条件のもとで捕獲する。捕獲した個体に含まれる標識個体数から全体の個体数を推定する。大学構内にある1つの大きな池に生息するコイの個体数を推定するため、捕獲実習を行った。この池で200個体のコイを捕獲し、標識をつけてその場で放流した。4日後に240個体のコイを捕獲したところ、60個体に標識がついていた。この池の面積は 400 m^2 である。

3. 上記の池に生息するコイの個体群密度（個体/ m^2 ）について、最も適切なものを選び、解答欄 に記せ。

- a. 0.13 個体/ m^2
- b. 0.20 個体/ m^2
- c. 1.3 個体/ m^2
- d. 2.0 個体/ m^2

4. 区画法と標識再捕法の一般的な説明として、最も適切な記述を選び、解答欄 に記せ。

- a. 区画法は、「あまり移動しない動物」に適した方法であり、標識再捕法は、「よく移動し、行動範囲の広い動物」に適した方法である。
- b. 区画法は、「よく移動し、行動範囲の広い動物」に適した方法であり、標識再捕法は、「あまり移動しない動物」に適した方法である。
- c. 区画法は、「あまり移動しない動物」と「よく移動し、行動範囲の広い動物」の双方に適した方法である。
- d. 標識再捕法は、「あまり移動しない動物」と「よく移動し、行動範囲の広い動物」の双方に適した方法である。

トノサマバッタを低密度で飼育すると、体が緑色の成虫となる。後脚は頑丈で長くなる。一方、高密度で飼育すると、体色が黒ずみ、相対体長は種が長大後脚の長くなる。飼育条件を「キ」という。(a) 個体群密度の上昇は、個体群の増殖率の低下のみならず、個体の形態や発育などにも影響を及ぼす。

また、植木鉢でダイズを栽培した場合、個体群密度が高いほど、個々の植物体の重量は小さくなる。(b) 植木鉢ごとの個体群全体の重量は、個体群密度の違いによらず、成長に伴って一定の値に近づく傾向がある。シロイヌナズナを実験室内で栽培した際にも同様の傾向が確認されている。個体群密度が高いほど、個々の植物体の重量は小さく、(c) 早期に少数の花芽をつける傾向がある。

5. 下線部(a)に関して、このような個体群密度の違いによって生じる形質のまとまった変化を何というか、解答欄「A」に漢字で記せ。

6. 上記の「カ」にあてはまる用語として、最も適切なものを下記から選び、解答欄「カ」に記せ。

- a. 適応進化
- b. 孤独相
- c. アリー効果
- d. 種内競争

7. 上記の「キ」にあてはまる用語として、最も適切なものを下記から選び、解答欄「キ」に記せ。

- a. 適応放散
- b. 種間競争
- c. 中立進化
- d. 群生相

8. 下線部(b)に関して提唱された法則を「「B」の法則」という。「B」に当てはまる語句を解答欄「B」に記せ。

9. 下線部(c)に関して、花芽をつける働きをもつ物質を何というか、解答欄「C」に記せ。

PART II

リベラルアーツ予備校FORUM-ICU：当塾では国際基督教大学より正規の許可を得て、この入試問題を公開・利用しています。

「ほとんどの遺伝子は核にある染色体上に存在する。」これを染色体説というが、この生物学の常識が真実として広く受け入れられたのはわずか100年ほど前のことである。染色体は1842年にネーグリによって発見された。色素を持たない細胞は無色透明であるため、染色体を含め細胞内部の構造を可視化するためには、通常(d)ある種の染料が用いられる。1882年には細胞の固定法、染色法を改良したフレミングが(e)クロマチン繊維を発見した。ヘンキングが1891年にカメムシを用いた研究で性特異的な染色体の1つであるX染色体を見つけると、X染色体が性決定に重要な因子であると考えられるようになった。1905年にスティーブンスは、多くの昆虫で雌にはX染色体が2本、雄には1本であると報告している。精液にはX染色体を持つ精子とY染色体を持つ精子がおおよそ等しい数含まれていることから、スティーブンスは性決定に関する遺伝情報は性染色体に存在するものと考えた。

染色体説は減数分裂中の染色体の挙動を詳細に研究したサットンらによって1902年に提唱されていたが、これを強く支持する現象は伴性遺伝であろう。キイロショウジョウバエもマウスと同様、通常はXY型が雄でXX型が雌である。キイロショウジョウバエのX染色体の遺伝子座Wには眼の色の決定に重要な遺伝子Wが存在する。優性遺伝子Wをもつと、野生型のように眼の色が赤くなり、劣性遺伝子wがホモ接合となった場合、または雄のX染色体が劣性遺伝子wをもつ場合、眼の色が白くなる。いま、野生型の雌(遺伝子型WW, 赤眼)とW遺伝子の突然変異の雄(劣性遺伝子wを持つ, 白眼)を交雑すると , F1(子)同士を交雑すると となる。性決定と眼の色に関する遺伝情報が性染色体に存在すると、この結果はメンデルの法則で説明できる。

10. 下線部(d)に関して正しい記述を選び、解答欄 に記せ。

- a. 遺伝情報を担っている化学物質は酸性なので、一般的に酸性の色素が用いられる。
- b. 遺伝情報を担っている化学物質は酸性なので、一般的に塩基性の色素が用いられる。
- c. 遺伝情報を担っている化学物質は塩基性なので、一般的に塩基性の色素が用いられる。
- d. 遺伝情報を担っている化学物質は塩基性なので、一般的に酸性の色素が用いられる。

11. 下線部(e)に関する次の文章の に当てはまる語句を解答欄 に記せ。

クロマチン繊維はヌクレオソームが折りたたまれた高次構造のことをいい、遺伝情報を担っている化学物質と が結合したものである。

12. 文中の と に入る適切な文の組み合わせを選び、解答欄 に記せ.

リベラルアーツ予備校FORUM-ICU：当塾では国際基督教大学より正規の許可を得て、この入試問題を公開・利用しています。

- a. F1(子)は雄雌とも赤眼になる.
 F2(孫)の雌は赤眼, 雄は赤眼と白眼が 1:1 になる.
- b. F1(子)の雌は赤眼, 雄は白眼になる.
 F2(孫)は雄雌とも赤眼と白眼が 1:1 になる.
- c. F1(子)は雄雌とも赤眼になる.
 F2(孫)は雄雌とも赤眼と白眼が 1:1 になる.
- d. F1(子)の雌は赤眼, 雄は白眼になる.
 F2(孫)の雌は赤眼, 雄は赤眼と白眼が 1:1 になる.

キイロショウジョウバエの染色体を調べるには、しばしば幼虫のだ腺染色体が用いられる。図1は発生段階の異なる、だ腺染色体の一部を示している。発生段階1から発生段階2へと進行している。図中棒線で示した染色体領域 r について、発生段階1における染色体領域 r に含まれる DNA 量を $d1$ 、mRNA 量を $m1$ 、発生段階2における染色体領域 r に含まれる DNA 量を $d2$ 、mRNA 量を $m2$ とする。

13. $d1$ と $d2$ 、 $m1$ と $m2$ の関係について最も適切な組み合わせを選び、解答欄 に記せ。

- a. $d1 = d2, m1 = m2$
- b. $d1 = d2, m1 < m2$
- c. $d1 < d2, m1 = m2$
- d. $d1 < d2, m1 < m2$

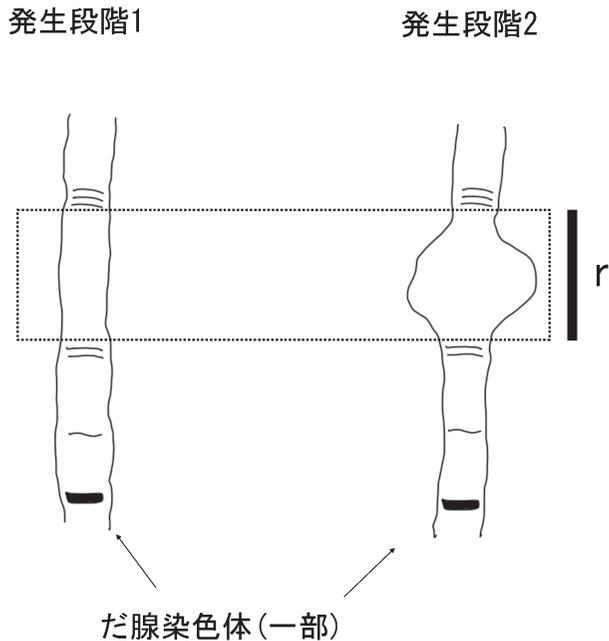


図1 発生段階の異なるだ腺染色体の一部

さて、W 遺伝子の突然変異を発見したモーガンの弟子の一人ブリッジスは 1916 年にこの W 遺伝子の遺伝に関する研究で非常に重要な発見者として知られる。彼の主要な研究は、果物の雌雄同体（雌雄雑種）の眼の色を重要な遺伝子について、w 遺伝子のホモ接合の雌 (P 雌親, 遺伝子型 ww, 白眼) と野生型雄 (P 雄親, 赤眼) の交雑によって生じた F1 (子) 世代約 2000 匹に 1 匹の頻度で (f) 赤眼の雄 (赤♂), あるいは白眼の雌 (白♀) が生まれてくることに着目し、これらの個体の染色体を詳細に調べた。この一連の研究は、W 遺伝子は X 染色体に存在すること、つまり、染色体説を決定的に裏付ける証拠とされた。

下線部 (f) の伴性遺伝からは予想されない赤眼の雄 (赤♂) について、性染色体特異的な遺伝子と染色体を調べた。まず、PCR 法 (ポリメラーゼ連鎖反応法) によってショウジョウバエの X 染色体, Y 染色体に存在する遺伝子の DNA を増幅し、電気泳動法によって増幅された DNA 断片を調べた (図 2)。次に、体細胞分裂中期の染色体を観察した (図 3)。これらの結果は赤眼の雄 (赤♂) の性染色体が通常の雄とは異なることを示している。

14. 赤眼の雄 (赤♂) の性染色体として、適切なものを下記から選び、解答欄 に記せ。

- a. XXY
- b. XX
- c. Y
- d. X

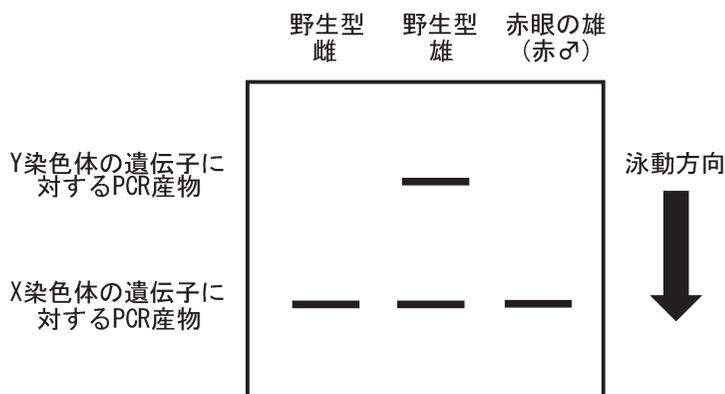


図2 電気泳動の結果



図3 ショウジョウバエ体細胞分裂中期の染色体

問 14 の結果から、下線部(f)の赤眼の雄(赤♂) あるいは白眼の雌(白♀)が観察された 1 つの可能性として、性染色体の不分離が雄親(♂)あるいは雌親(♀)の不分離として、減数分裂中に染色体が通常とは異なる数で娘細胞に分配されることをいう。性染色体の不分離が雌親(P 雌親)の卵形成中の減数分裂時に起こり、その結果生じた卵(e1)が受精して赤眼の雄(赤♂)が生まれたとする。また、雄親(P 雄親)の精子形成時には染色体不分離は起こらなかったとする。図 4 は野生型雌における卵形成の減数分裂における DNA 量の変化を示したグラフである。ただし、減数分裂前の細胞に含まれる DNA 量(相対値)を 2 とし、X 染色体 1 本の DNA 量は 0.2 とする。

15. 卵(e1)が生じる原因となった減数分裂中の DNA 量の変化として、最も適切なものを次のページの a ~ dの中から選び、解答欄 に記せ。

細胞あたりのDNA量(相対値)

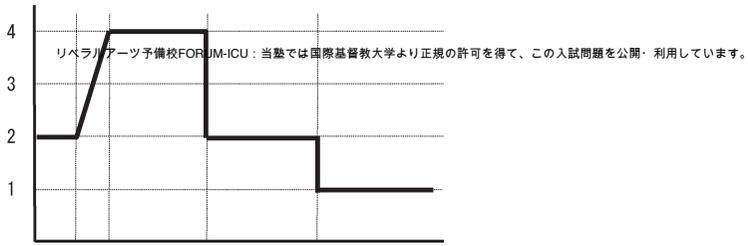
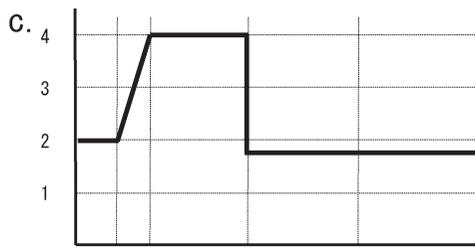
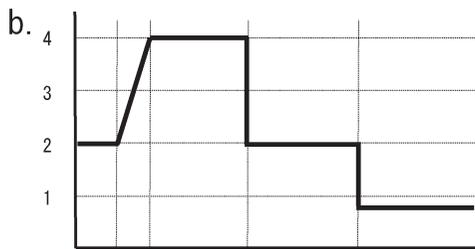
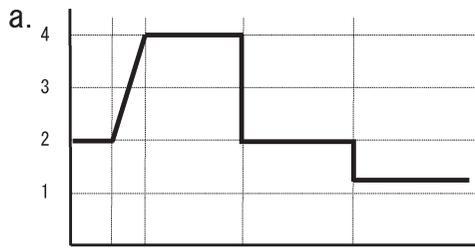
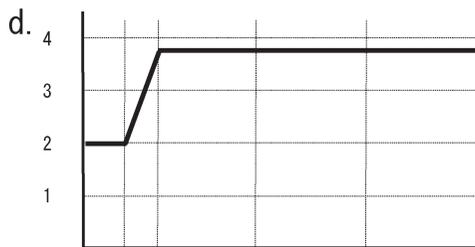


図4 野生型の卵細胞減数分裂過程でのDNA量の変化

細胞あたりのDNA量(相対値)



卵(e1)が生じる原因となった減数分裂



問 15 の卵(e1)の原因となった減数分裂では、X 染色体の本数が通常の卵とも、卵(e1)とも異なる卵(e2)が生じたと考えられる。この卵(e2)が受精して生まれたと考え、白眼の雌(白♀)の性染色体の組み合わせはどうなっていると考えられるか。個体が白眼になる条件は、「遺伝子 W はすべて劣性遺伝子 w」であるとする。

16. 白眼の雌(白♀)の性染色体の組み合わせとして、最も適切なものを選び、解答欄 に記せ。ただし、P 雌親由来の X 染色体を X[メス]、P 雄親由来の X 染色体を X[オス]とし、それらを 1 本ずつ持っている個体を

X[メス] X[オス]

と表すとする。

- a. X[メス] X[メス] X[オス]
- b. X[メス] X[メス] X[メス]
- c. X[メス] X[メス] Y
- d. X[メス] X[オス] Y

17. 遺伝子座 A には対立遺伝子 A と a、遺伝子座 B には対立遺伝子 B と b があるとする。交雑によって得られた遺伝子型が AaBb である F1(子)に、遺伝子型が aabb である個体を検定交雑した。2 つの遺伝子座の組み換え価は 1%であると推定されている。そこで大学生の A 君は組換えが起こった個体を 99%以上の確率で取れるよう実験計画を立てた。F2(孫)世代を何匹以上観察すると 99%以上の確率で少なくとも 1 個体の組換えが起こった個体を観察することができるか。観察する必要がある F2(孫)の最小の個体数(n)の条件として適切なものを選び、解答欄 に記せ。

- a. 0.99 の n 分の 1 が 0.01 より小さくなる。
- b. 0.99 の n 分の 1 が 0.02 より小さくなる。
- c. 0.99 の n 乗が 0.01 より小さくなる。
- d. 0.99 の n 乗が 0.02 より小さくなる。

リベラルアーツ予備校FORUM-ICU：当塾では国際基督教大学より正規の許可を得て、この入試問題を公開・利用しています。

