

専 門 科 目

化学・生物系分野

注 意 事 項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題用紙を開いてはいけません。
- 2 問題用紙は7ページ、解答用紙は6ページあります。試験開始の合図があつてから確かめなさい。
- 3 監督者の指示に従い、解答用紙の各ページに受験番号を記入しなさい。氏名を書いてはいけません。
- 4 文字などの印刷に不鮮明なところがあった場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
- 5 解答はすべて解答用紙に記入しなさい。ただし、「総得点欄」「採点欄」「得点欄」に記入してはいけません。
- 6 問題用紙の余白は下書きとして利用してよい。
- 7 試験終了後、配付された問題用紙、下書用紙は持ち帰りなさい。

(注意)

問題1は必答問題です。全員が解答しなさい。

問題2から問題6は選択問題です。選択問題から**2題を選んで**解答しなさい。**下の表で、自分が選択した2題の解答選択欄に○印をつけなさい。**解答用紙の表紙にも同様の指示があるので、注意すること。

No.	問題種別	出題分野	解答選択欄
問題1	必答問題	化学と生物の基礎	○
問題2	選択問題	有機化学	
問題3	選択問題	無機化学	
問題4	選択問題	物理化学	
問題5	選択問題	生物化学	
問題6	選択問題	生物工学	

問 題 用 紙

(化学・生物系分野)

問題 1 (必答問題)

- (1) 次の記述の中で正しいものの記号を全て選びなさい。
- (a) 天然の炭素には質量数 12 の炭素と同素体として質量数 13 の炭素があり、前者の質量が全ての元素の原子量の基準になっている。
 - (b) n-ブタンに含まれる 2 つのメチル基は、なるべく立体反発が少なくなるように両者が trans の位置になるコンホメーションが安定である。
 - (c) エテン (エチレン) への水の反応は、酸触媒で加速される典型的な付加反応である。
 - (d) 航空機用の燃料には、自動車用のガソリンよりも炭素数が多く揮発しにくい炭素化合物が用いられる。
 - (e) 全ての α -アミノ酸には光学異性体が存在する。
- (2) 以下の (ア) ~ (カ) に適切な数字または化学式を書いて反応式を完成させなさい。
- (a) $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + (\text{ア}) \text{Al}(\text{s}) \rightarrow 2\text{Fe}(\text{s}) + (\text{イ})$
 - (b) $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + (\text{ウ}) \text{CO}(\text{g}) \rightarrow 2\text{Fe}(\text{s}) + 3(\text{エ})$
 - (c) $\text{Cu}(\text{s}) + 2\text{NO}_3^-(\text{aq}) + 4\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2(\text{オ}) + 6(\text{カ})$
- (3) 水 450 g を電気分解したとき、発生した水素と酸素の体積は、標準状態においてそれぞれいくらか計算過程も示しながら答えなさい。ただし、H と O の原子量をそれぞれ 1.0 と 16 とする。また、発生する気体は理想気体として振る舞い、標準状態における理想気体 1 mol の体積は 22.4 L とする。
- (4) 以下の文中の (ア) ~ (コ) に当てはまるアルファベット 1 文字を書きなさい。
鏡像体のうち生体で使われるのは、アミノ酸では (ア) 体、糖では (イ) 体である。
生体内でのポリペプチドの合成方向は (ウ) 末 $\rightarrow$ (エ) 末方向である。
生体を構成する元素のうち、最も量の多い (オ) (カ) (キ) (ク) の 4 つを主要元素と呼ぶが、この他に、タンパク質では (ケ) が、核酸では (コ) が含まれる。生体中で最も多い物質は水なので、物質質量比で最も多い元素は (カ) であり、質量比で最も多い元素は (キ) である。主要元素中で最も少ないのは (ク) である。
- (5) 細胞は、すべての生物における基本的な構成要素であり、生命活動に必要なすべての化学反応が行われる場である。表 1 の A~H に細胞の構成要素 (核、細胞壁、細胞膜、ミトコンドリア、葉緑体) の組合せを示した。下のア~コで示す細胞について、構成要素の組合せを正しく表しているものを表 1 から選んでアルファベットで答えなさい。なお、同じアルファベットを繰り返し選んでも良い。

ア：大腸菌、イ：出芽酵母、ウ：ニワトリの卵黄細胞、エ：ミドリムシ、オ：ヒトの赤血球、
カ：ネンジュモ、キ：枯草菌、ク：麹 (こうじ) 菌、ケ：ツバキの葉肉細胞、
コ：ヒトの神経細胞

表 1 細胞の構成要素の組合せ。有を「+」で、無を「-」で示した。

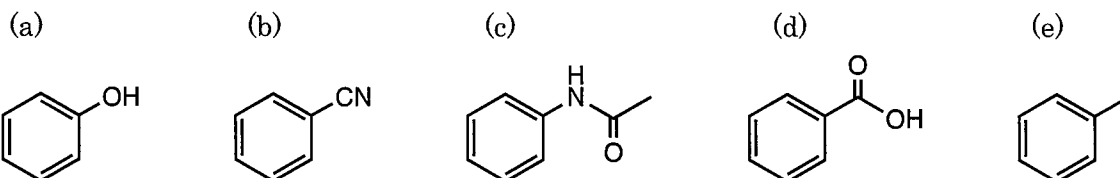
	A	B	C	D	E	F	G	H
核	-	+	+	+	-	-	+	+
細胞壁	+	+	+	-	+	-	-	+
細胞膜	+	+	+	+	+	+	+	+
ミトコンドリア	-	-	+	+	+	-	+	+
葉緑体	-	+	-	+	-	-	-	+

問 題 用 紙

(化学・生物系分野)

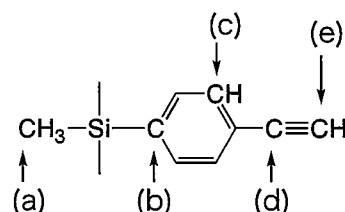
問題 2 (選択問題)

(1) (a)～(e)の化合物の名称を書きなさい。(IUPAC 名でも慣用名でもよい)



(2) (1) の化合物をそれぞれ触媒の存在下で臭素と反応させたところ、置換反応が起きた。
(a)～(e)の中でベンゼンよりも反応性が高い化合物の記号を全て書きなさい。

(3) 右の図の化合物を重合させて得られるポリマーの膜は、高い酸素選択性と透過性を有する酸素富化膜となることが知られている。図中の(a)～(e)の炭素の混成軌道の種類を書きなさい。



(4) フェニルブチルエーテルを合成するとき使用する試薬の組み合わせとして①：ナトリウムフェノキシドと 1-ブロモブタン，②：ナトリウムブトキシドとブロモベンゼン のうち，②は不適切である。その理由を下記の語群から必要な用語を 3 つ以上選んで使用して書きなさい。(単に「〇〇は不活性だから」は理由にならない点に注意すること)

語群

ハロゲン化アルキル 正四面体構造 求電子置換 求核置換 電子付加 求核付加
ハロゲン化アリール 平面構造 直線構造 カルボカチオン 背面攻撃 立体障害

(5) フェニルブチルエーテルを塩化アルミニウムの存在下で塩素を含む化合物 A と反応させたところ、塩化水素の発生を伴いながら反応が進行し、同じ分子式を有するが構造の異なる化合物 B と C が生成した。化合物 B を単離して分析したところ、以下のような分析結果を得た。これらの結果をもとに、(a) ～ (d) の問いに答えなさい。必要なら原子量として次の値を用いなさい。 H : 1.0 C : 12 O : 16

- ・ 元素分析で求めた化合物 B の組成式は C_6H_8O であった。
- ・ 質量スペクトルには $m/e=192$ に分子イオンピークが見られた。
- ・ 赤外吸収スペクトルには、 1690 cm^{-1} 付近に原料には無かった大きな吸収帯が見られた。
- ・ 図 1 に示した ^{13}C NMR スペクトルには溶媒由来のピークを除いて 10 本のシグナルが現れた。それらのシグナルは原子団判別により、メチル基：2 本，メチレン基：3 本，メチン基：2 本，4 級炭素：3 本であった。
- ・ 図 2 に示した ^1H NMR スペクトルには低磁場側から順に①～⑦の 7 種類のシグナルが現れ、それらの積分強度比と分裂のパターンは表のとおりとなった。

次ページに続く

問題用紙

(化学・生物系分野)

前ページの続き

- (a) 化合物 B の式量と分子式を書きなさい。
- (b) 下線部のような関係にある化合物を何と呼ぶか書きなさい。
- (c) この反応で化合物 B に導入された官能基の名称を書きなさい。
- (d) 化合物 A と B の名称と骨格構造を書きなさい。

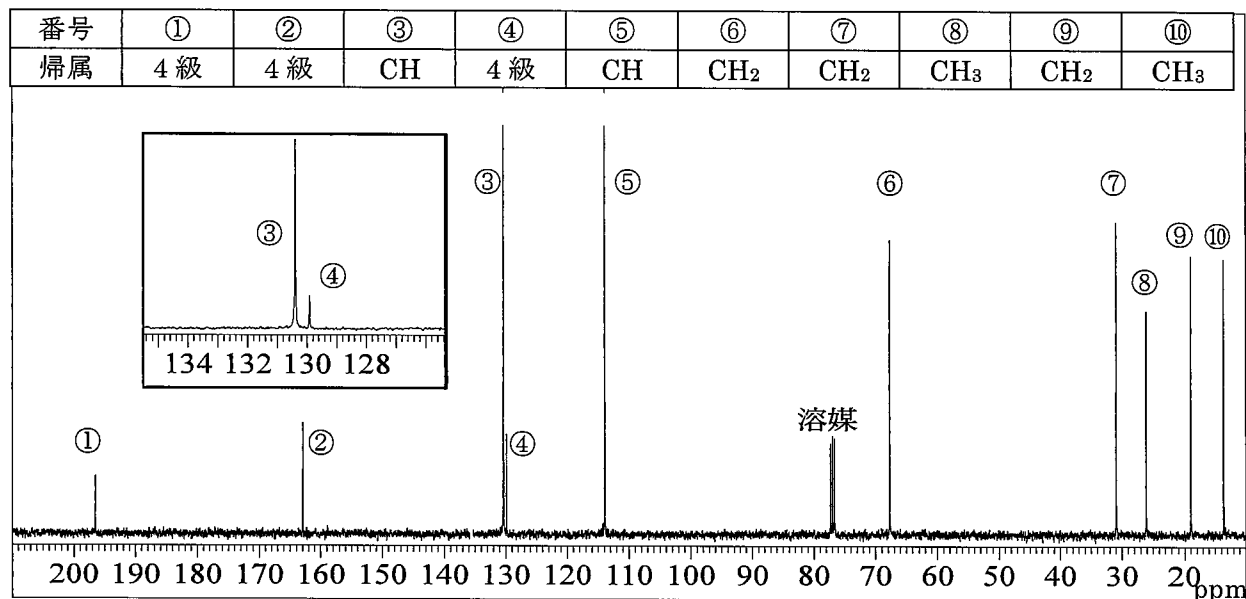


図1 化合物 B の ^{13}C NMR スペクトルと各ピークの帰属

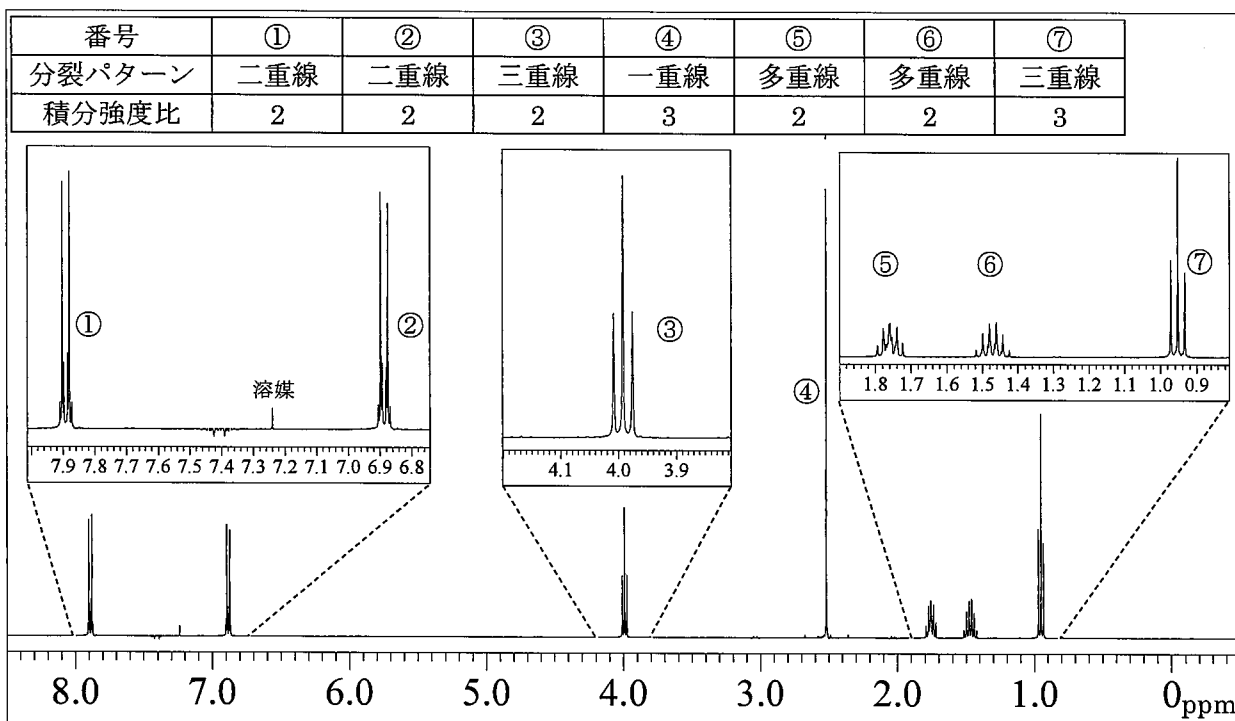


図2 化合物 B の ^1H NMR スペクトルと各ピークの分裂パターンおよび積分強度比

問題用紙

(化学・生物系分野)

問題 3 (選択問題)

イオン結晶に関する以下の問題に答えなさい。

(1) 下図は代表的なイオン結晶の結晶構造の模式図を表している。

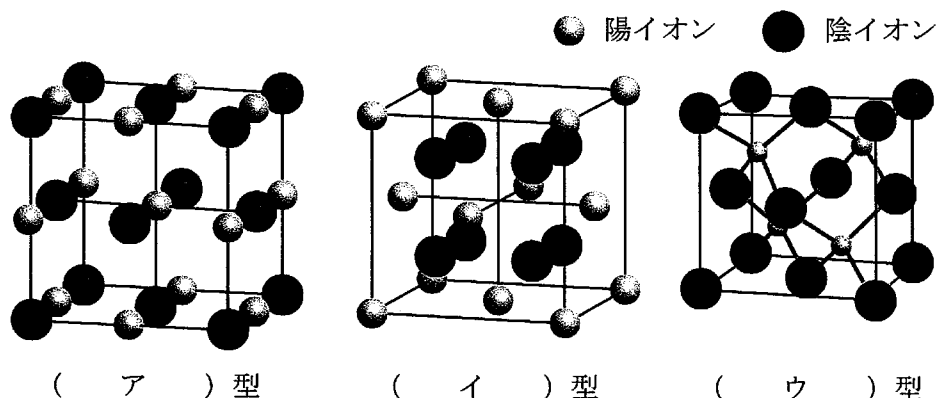


図1 イオン結晶の代表的な結晶構造

- (a) (ア) ~ (ウ) にあてはまる結晶構造の名称を書きなさい。また、すべての結晶について陰イオンの配位数を答えなさい。
- (b) (ア) 型の結晶について、単位格子中の陽イオンおよび陰イオンの数を答えなさい。また、密度を求めなさい。ただし、陽イオンと陰イオンの原子量をそれぞれ Z_+ , Z_- , 格子定数を d , アボガドロ数を N_A とする。
- (2) 陽イオンと陰イオンからなるイオン結晶のポテンシャルエネルギーは、最近接イオン間の距離を r とすると、1 mol あたりの全ポテンシャルエネルギーは次式で与えられる。

$$U = \left(\frac{Mq_+q_-}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{B}{r^n} \right) \times N_A \quad (3.1)$$

ここで、 M は結晶構造によって決まる Madelung (マードルング) 定数, q_+ , q_- はそれぞれ陽イオンと陰イオンの電荷, ϵ_0 は真空の誘電率, n は Born (ボルン) 定数, B は定数である。

- (a) (3.1) 式のかっこ内の第1項と第2項はそれぞれ何を意味するか書きなさい。
- (b) 全エネルギー U について、縦軸をエネルギー、横軸をイオン間距離 r として、グラフの概略を書きなさい。ただし、無限遠方 ($r \rightarrow \infty$) におけるポテンシャルエネルギーを 0 とする。また、グラフにある r_e は平衡イオン間距離である。
- (c) 平衡イオン間距離 r_e を求めなさい。
- (d) 式(3.1)から(c)の結果を用いて B を消去し、Born-Landé (ボルン・ランドー) の式を求めなさい。ただし、平衡イオン間距離を r_e としなさい。

問 題 用 紙

(化学・生物系分野)

問題 4 (選択問題)

次の文章を読んで、(1) ～ (8) の問いに答えなさい。

25℃において、 0.10 mol L^{-1} の酢酸水溶液10 mLに、 0.10 mol L^{-1} の水酸化ナトリウム水溶液10 mLを添加し混合した後、pHを測定した。酢酸のような弱酸とその塩を混合した水溶液は、一般的には (ア) 作用を示す。

- (1) 標準状態 (25℃) において、1 molの水酸化ナトリウムを多量の水に溶解させたときの標準溶解エンタルピーを計算して答えなさい。また、吸熱反応か発熱反応か、解答用紙の正しいほうに○をつけなさい。計算過程も示すこと。ただし、標準状態 (25℃) における水酸化ナトリウム(s) および $\text{Na}^+(\text{aq})$ 、 $\text{OH}^-(\text{aq})$ の標準生成エンタルピーをそれぞれ $-425.61 \text{ kJ mol}^{-1}$ 、 $-240.12 \text{ kJ mol}^{-1}$ 、 $-229.99 \text{ kJ mol}^{-1}$ とする。ここでsおよびaqはそれぞれ固体および希薄水溶液の状態にあることを意味する。
- (2) 25℃の 0.10 mol L^{-1} の水酸化ナトリウム水溶液のpHを計算しなさい。このとき、水酸化ナトリウムは全て電離しているものとする。計算過程も示しなさい。
- (3) 酢酸水溶液の電離平衡式を書きなさい。
- (4) 25℃の 0.10 mol L^{-1} の酢酸水溶液のpHと酸解離定数 K_a を計算しなさい。ただし、この水溶液中の酢酸の電離度を0.020、 $\log_{10}2 = 0.30$ とする。計算過程も示しなさい。
- (5) 酢酸と水酸化ナトリウムの中和反応式を書きなさい。
- (6) 0.10 mol L^{-1} の酢酸水溶液 10 mL中の H^+ 量と 0.10 mol L^{-1} の水酸化ナトリウム水溶液 10 mL中の OH^- 量は大きく異なるが、混合すると中和反応は進行する。この理由を答えなさい。
- (7) 下線部について、この水溶液のpHを下の〔 〕から選んで答えなさい。また、その理由を答えなさい。

〔 $\text{pH} < 7$ ・ $\text{pH} = 7$ ・ $\text{pH} > 7$ 〕

- (8) (ア) に当てはまる語を答えなさい。また、酢酸とその塩を混合した水溶液のpHを、酢酸の酸解離定数 K_a と酢酸の濃度 C_a 、酢酸の塩の濃度 C_b を用いて表しなさい。ただし、酢酸の電離度は1と比べて十分小さいこととする。

問 題 用 紙

(化学・生物系分野)

問題 5 (選択問題)

次の文章を読んで、(1) ～ (4) の問いに答えなさい。

肺炎双球菌には、病原性を持つ S 型菌と病原性を持たない R 型菌の 2 つのタイプがあり、S 型菌を注射されたマウスは肺炎を起こすが、R 型菌を注射されたマウスは肺炎を起こさない。この 2 つのタイプは培養培地上でのコロニーの形状が異なるため、容易に区別することができる。

肺炎双球菌を用い以下に示す処理を行ったうえで、マウスに注射する実験 I と、培養しコロニーの形状を観察する実験 II を行った。

実験 I

- i) S 型菌をマウスに注射した。
- ii) R 型菌をマウスに注射した。
- iii) S 型菌を煮沸処理してマウスに注射した。
- iv) S 型菌を煮沸処理して R 型菌（無処理）とともにマウスに注射した。
- v) S 型菌を摩砕処理（菌体を完全に破壊）してマウスに注射した。
- vi) S 型菌を摩砕処理（菌体を完全に破壊）して R 型菌（無処理）とともにマウスに注射した。

実験 II

- vii) S 型菌を摩砕処理（菌体を完全に破壊）し、さらに（イ）で処理したものと R 型菌（無処理）を混合、培養培地上で培養しコロニーの形状を観察した。
- viii) S 型菌を摩砕処理（菌体を完全に破壊）し、さらに（ロ）で処理したものと R 型菌（無処理）を混合、培養培地上で培養しコロニーの形状を観察した。

- (1) 実験 I の i) ～ vi) の実験において、注射されたマウスはどうなるか。それぞれの結果を以下の A～C より選んでその記号で答えなさい。ただし、i) と ii) の結果は解答用紙にすでに記載してある。

- A 肺炎を起こす。
- B 肺炎を起こさない。
- C 約半数が肺炎を起こす。

- (2) 実験 I の iii) と iv) の実験において、なぜそのような結果となるのか、理由を 120 文字程度で説明しなさい。

- (3) 実験 II の vii) と viii) の実験において、vii) では R 型菌のコロニーが観察され、viii) では S 型菌のコロニーが観察された。（イ）、（ロ）に当てはまる酵素を以下の酵素から選んでその記号で答えなさい。

- a タンパク質分解酵素
- b DNA 分解酵素

- (4) 実験 II の vii) と viii) の実験から、生物の遺伝子としての役割を担っている物質が何であるか、判断する理由を示し、120 文字程度で説明しなさい。

問題用紙

(化学・生物系分野)

問題 6 (選択問題)

次の文章を読んで、(1)～(5)の問いに答えなさい。

3種類の制限酵素 A, B, C と (ア) を用いて以下のような遺伝子クローニング実験を行った。

- i) 制限酵素 A を 3500 塩基対の環状 DNA に作用させ、1箇所 で切断した。
- ii) 制限酵素 A をある生物由来の DNA に作用させた後、目的とする遺伝子を含む 2000 塩基対の直鎖状 DNA を抽出した。
- iii) i) と ii) で得られた直鎖状 DNA を含む水溶液に (ア) を加えて反応させたところ、それぞれの DNA が連結し、5500 塩基対の環状 DNA が得られた。
- iv) iii) で得られた環状 DNA を大腸菌に導入し培養したところ、複数の大腸菌コロニーを得た。
- v) iv) で得られた複数のコロニーから、それぞれ 5500 塩基対の環状 DNA を再抽出した。
- vi) v) で得られた環状 DNA を制限酵素 A, A と B, または A と C で切断した。
- vii) v) で得られた環状 DNA と vi) の操作で切断した DNA をアガロースゲル電気泳動法によって分離したところ、図 1 のような泳動像が得られた。

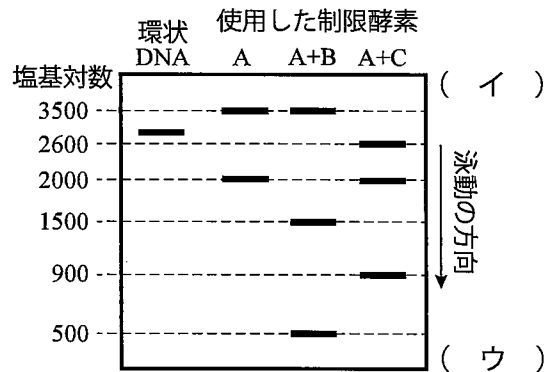


図 1 DNA のアガロースゲル電気泳動像

- (1) 文章中の (ア) に当てはまる酵素名を答えなさい。
- (2) 3500 塩基対と 5500 塩基対の 2 つの環状 DNA の塩基組成を調べたところ、3500 塩基対の環状 DNA に含まれるグアニンの物質質量比 (モル比) は 20.8% であり、5500 塩基対の環状 DNA に含まれるグアニンのモル比は 24.4% であった。目的遺伝子を含む 2000 塩基対の DNA 断片に含まれるグアニンとアデニンのモル比をそれぞれ答えなさい。
- (3) 5500 塩基対の環状 DNA を制限酵素 B と C で同時に切断したところ、2 つの DNA 断片が生じた。それらの DNA 断片の塩基対数はそれぞれいくつか、予想される塩基対数の組合せをすべて答えなさい。
- (4) 下線部における泳動の方向を図 1 のようにした場合、(イ) と (ウ) のどちらが陽極か、記号で答えなさい。
- (5) 下線部において、制限酵素で切断していない 5500 塩基対の DNA の移動度を観察したところ、図 1 に示すように 5500 塩基対よりも小さいサイズの位置に泳動像が観察された。この理由を 50 文字程度で答えなさい。