

理学研究科理学専攻（物質・生命化学領域）

入学試験問題（2026年度）

試験時間 9:20－12:00（2時間40分）

試験開始の合図までにこの問題冊子を開いてはいけません。
試験開始までに、以下の注意事項をよく読むこと。

注意事項：

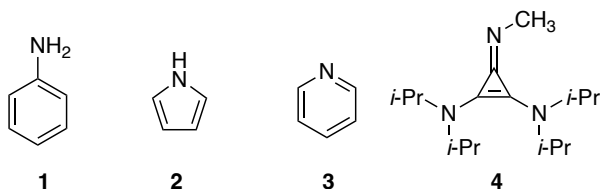
- 1) 解答用紙の所定の欄に受験番号を記入せよ。名前を書いてはいけません。
- 2) 有機化学から3題、無機・分析化学から3題、物理化学から3題、生物化学から2題の計11題が出題されている。うち8題を選択して解答せよ。
(1題あたり5問で構成され、計40問を解答することとなる。)
- 3) 解答用紙は、有機化学、無機・分析化学、物理化学、生物化学の分野別に用紙を分けている。誤った用紙に記入することの無いよう留意のこと。
- 4) どの8題を選択したか明確にするため、分野別の解答用紙に記載の出題科目（例えば、有機化学1）の文字上に大きく「○」を付すこと。
付した「○」の数の合計は8個以下でなければならず、9個以上付した場合には点数の低い方から8つの科目の合計点を評価点とすることから留意のこと。
- 5) 解答が不正解の場合は減点されるが、無回答は加点も減点もされない。

有機化学 1

有機化学1

問1 有機化学

以下の窒素化合物について述べた文章(1)~(4)について、記述が正しいものはいくつあるか、(A)~(E)から選べ。



(1) 4つの化合物の中で、二番目に塩基性が高いものは化合物3である。

(2) 化合物2の窒素原子は sp^3 混成をとっている。

(3) 化合物3の窒素原子の非共有電子対は、芳香族性の発現に寄与している。

(4) 化合物4は、プロトン化によって反芳香族性を帯びる。

- (A) 1つ
(B) 2つ
(C) 3つ
(D) 4つ
(E) すべて誤り

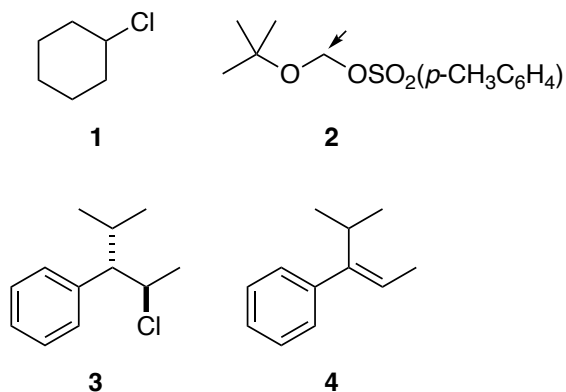
問2 有機化学

以下の文章のうち、下線部に関して正しいものはどれか、(A)~(E)から選べ。

(1) 化合物1と NaN_3 との反応では、溶媒をmethanolからacetonitrileにすると反応が速くなる。

(2) 化合物2は、矢印で示した炭素で $\text{S}_{\text{N}}1$ 反応が速く進行する。これは、主にtert-butyl基の立体効果による。

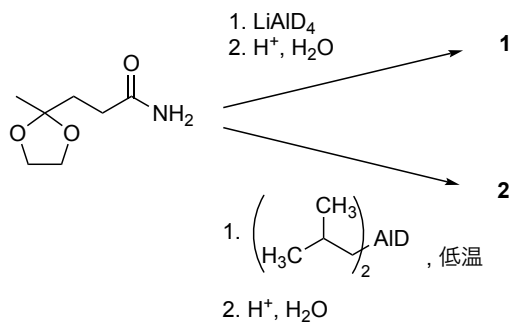
(3) 化合物3に NaOC_2H_5 を反応させると、化合物4が主生成物として得られる。



- (A) (1)
(B) (2)
(C) (3)
(D) (1), (2)
(E) (1), (3)

問3 有機化学

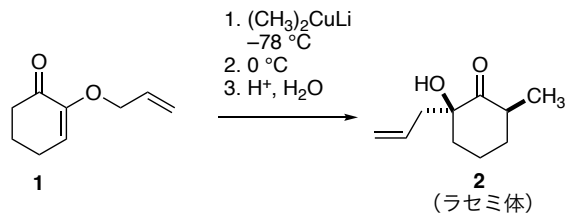
以下の反応で得られる主生成物の組み合わせとして正しいものはどれか、(A)~(E)から選べ。



- (A) 1 2
- (B) 1 2
- (C) 1 2
- (D) 1 2
- (E) 1 2

問4 有機化学

次の反応について記述した文章(1)~(3)のうち誤っているものはどれか、(A)~(E)から選べ。

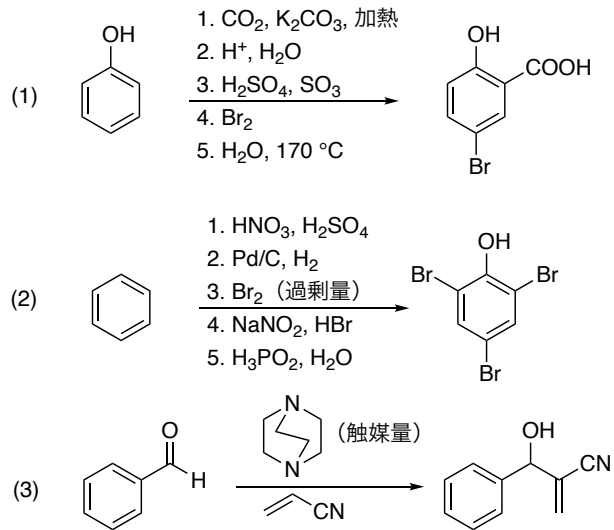


- (1) 共役付加反応が起きている。
- (2) $(\text{CH}_3)_2\text{CuLi}$ の代わりに CH_3Li を使用した場合も、化合物 **2** が主生成物として得られる。
- (3) 化合物 **1** のカルボニル炭素を ^{14}C で標識化した場合、生成物のカルボニル炭素が ^{14}C となる。

- (A) (1)
 (B) (2)
 (C) (3)
 (D) (1), (2)
 (E) (2), (3)

問 5 有機化学

以下の変換(1)~(3)において、主生成物の構造が誤っているものはどれか、(A)~(E)から選べ。



- (A) (1)
- (B) (2)
- (C) (3)
- (D) (1), (2)
- (E) (2), (3)

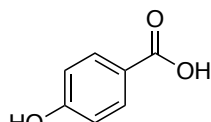
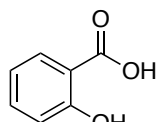
有機化学 2

有機化学2

問6 有機化学

以下の文章(1)~(4)について、正しいものの組み合わせはどれか、(A)~(E)から選べ。

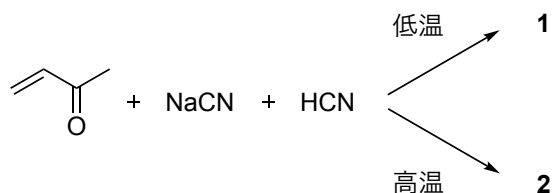
- (1) 化合物 **1** は化合物 **2** よりも熱力学的に安定である。
- (2) 化合物 **3** と化合物 **4** では、**3** の方が酸性度が高い。
- (3) cyclopropane の沸点は、*n*-propane よりも高い。
- (4) *cis*-2-butene の水素化熱 ΔH° は、*trans*-2-butene のそれよりも小さい。



- (A) (1), (2)
(B) (1), (3)
(C) (1), (4)
(D) (2), (3)
(E) (2), (4)

次の 3-buten-2-one とシアン化ナトリウム、青酸ガスの反応では、低温では化合物 **1** が主生成物として得られるのに対し、高温ではその構造異性体である化合物 **2** が主生成物として得られる。

この事実に関し、以下の設問に答えよ。



問7 有機化学

以下の記述(1)~(3)のうち、正しいものはどれか、(A)~(E)から選べ。

- (1) 化合物 **1** は化合物 **2** よりもエネルギー的に安定である。
- (2) 化合物 **1** を与える反応の活性化エネルギーは、化合物 **2** を与える反応の活性化エネルギーより低い。
- (3) 化合物 **2** を低温で保管すると、**1** と **2** の混合物が得られる。

- (A) (1)
(B) (2)
(C) (3)
(D) (1), (3)
(E) (2), (3)

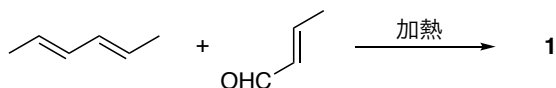
問 8 有機化学

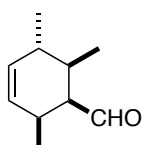
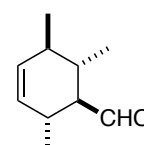
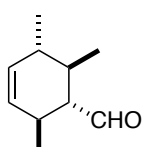
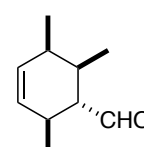
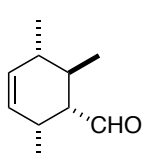
3-buten-2-one から化合物 **1** が得られる反応がある条件で行ったところ、エナンチオマー混合物が得られた。この混合物の旋光度は、光学的に純粋な **1** が示す旋光度の 5 分の 1 の値であった。この混合物に含まれる各エナンチオマーの割合として正しいものはどれか、(A)~(E)から選べ。

- (A) 1:5
- (B) 1:4
- (C) 1:2
- (D) 1:1
- (E) 2:3

問 9 有機化学

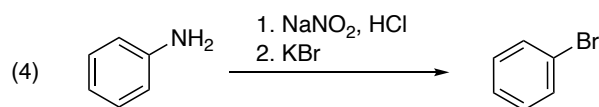
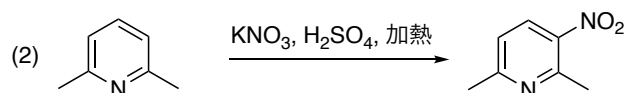
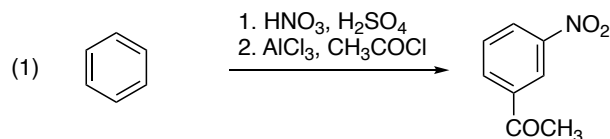
次の反応で得られる主生成物 **1** の構造として正しいものはどれか、(A)~(E) から選べ。



- (A) 
- (B) 
- (C) 
- (D) 
- (E) 

問 10 有機化学

以下の変換(1)~(4)によって得られる主生成物の構造が正しいものはどれか、(A)~(E) から選べ。



- (A) (1)
- (B) (2)
- (C) (1), (3)
- (D) (2), (4)
- (E) (3), (4)

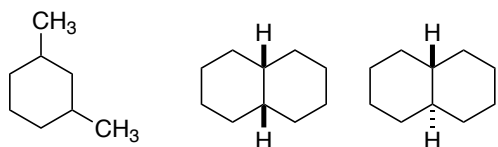
有機化学 3

有機化学3

問 11 有機化学

以下の文章のうち、正しいものはどれか、(A)~(E)から選べ。

- (1) dimethylcyclohexane の異性体は全部で 8 種類存在する。
- (2) 1,3-dimethylcyclohexane では、*cis* 体よりも *trans* 体の方が安定である。
- (3) *cis*-decalin と *trans*-decalin では、*cis* 体は環反転が起こるが、*trans* 体では起こらない。

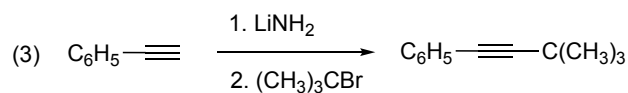
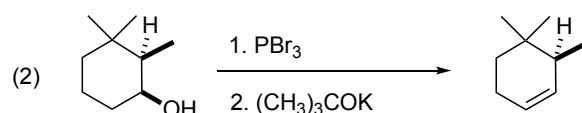
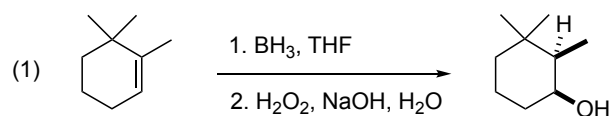


1,3-dimethylcyclohexane *cis*-decalin *trans*-decalin

- (A) (1)
 (B) (2)
 (C) (3)
 (D) (1), (3)
 (E) (2), (3)

問 12 有機化学

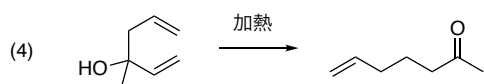
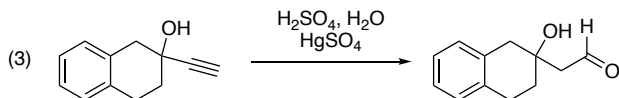
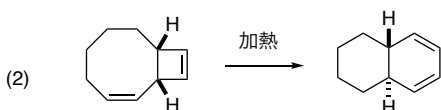
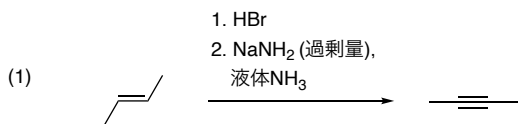
以下の変換(1)~(3)において、得られる主生成物の構造が正しいものはどれか、(A)~(E)から選べ。



- (A) (1)
 (B) (2)
 (C) (3)
 (D) (1), (2)
 (E) (2), (3)

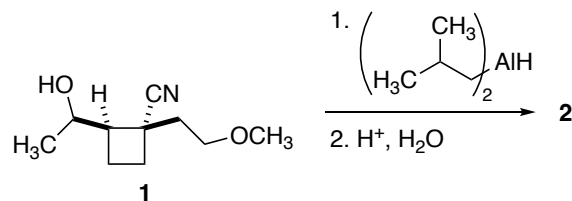
問 13 有機化学

以下の変換(1)~(4)によって得られる主生成物の構造が正しいものの組み合わせはどれか、(A)~(E) から選べ。



- (A) (1), (2)
 (B) (1), (4)
 (C) (1), (3), (4)
 (D) (2), (3)
 (E) (2), (4)

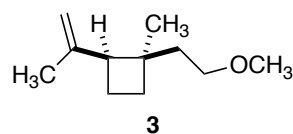
グランジソール誘導体 **3** の合成に関する以下の設問に答えよ。



1.

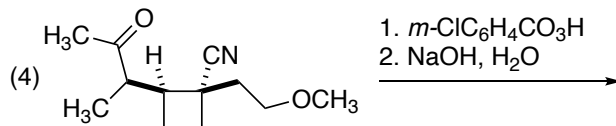
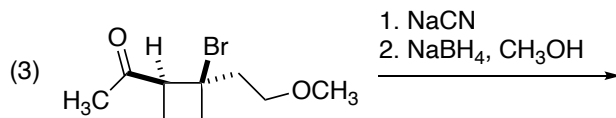
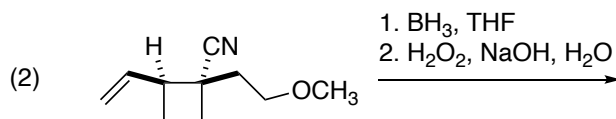
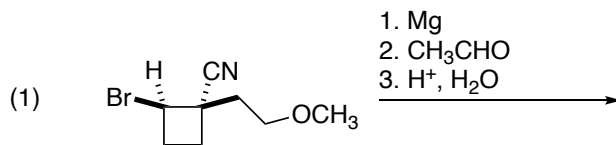
2.

3. $\text{CH}_2=\text{PPh}_3$



問 14 有機化学

以下の変換(1)~(4)において、効率的に化合物 **1** が得られるものはいくつあるか、(A)~(E) から選べ。



- (A) 4つ
 (B) 3つ
 (C) 2つ
 (D) 1つ
 (E) すべて誤り

問 15 有機化学

化合物 **3** を得るための反応条件 a と b にあてはまる正しい組み合わせを(A)~(E) から選べ。

	反応条件 a	反応条件 b
(A)	$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7, \text{H}_2\text{SO}_4, \text{H}_2\text{O}$	1. CH_3I (過剰量), $\text{K}_2\text{CO}_3, \text{H}_2\text{O}$ 2. $\text{Ag}_2\text{O}, \text{H}_2\text{O},$ 加熱
(B)	1. CH_3I (過剰量), $\text{K}_2\text{CO}_3, \text{H}_2\text{O}$ 2. $\text{Ag}_2\text{O}, \text{H}_2\text{O},$ 加熱	$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7, \text{H}_2\text{SO}_4, \text{H}_2\text{O}$
(C)	$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7, \text{H}_2\text{SO}_4, \text{H}_2\text{O}$	1. $\text{H}_2\text{NNH}_2, \text{KOH},$ $\text{H}_2\text{O},$ 加熱 2. H_2O
(D)	1. $\text{H}_2\text{NNH}_2, \text{KOH},$ $\text{H}_2\text{O},$ 加熱 2. H_2O	$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7, \text{H}_2\text{SO}_4, \text{H}_2\text{O}$
(E)	$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7, \text{H}_2\text{SO}_4, \text{H}_2\text{O}$	$\text{Zn(Hg), HCl},$ 加熱

無機・分析化学1

無機・分析化学1

問 16 無機・分析化学

金属錯体(i)~(iv)の可視光領域におけるモル吸光係数(最大値)の大小関係について、正しいものを(A)~(E)から選べ。

- (i) $[\text{MnO}_4]^-$
- (ii) $[\text{FeF}_6]^{3-}$
- (iii) $[\text{CoCl}_4]^{2-}$
- (iv) $[\text{Ti}(\text{OH}_2)_6]^{3+}$

- (A) (i) > (ii) > (iii) > (iv)
- (B) (i) > (iii) > (iv) > (ii)
- (C) (ii) > (iii) > (iv) > (i)
- (D) (i) > (iv) > (iii) > (ii)
- (E) (i) > (iii) > (ii) > (iv)

問 17 無機・分析化学

水溶液中の水和金属イオン(標準状態)における水分子の交換速度が三番目に大きいものを(A)~(E)から選べ。

- (A) $[\text{Cu}(\text{OH}_2)_6]^{2+}$
- (B) $[\text{Cs}(\text{OH}_2)_6]^+$
- (C) $[\text{Fe}(\text{OH}_2)_6]^{3+}$
- (D) $[\text{Ru}(\text{OH}_2)_6]^{3+}$
- (E) $[\text{Cr}(\text{OH}_2)_6]^{3+}$

問 18 無機・分析化学

有機金属錯体に関する反応(i)~(v)のうち、中心金属の形式酸化数が増加するものの数を(A)~(E)から選べ。

- (i) $\text{trans-}[\text{Ir}(\text{CO})\text{Cl}(\text{PPh}_3)_2] + \text{H}_2 \rightarrow \text{Ir}(\text{CO})\text{Cl}(\text{H})_2(\text{PPh}_3)_2$
- (ii) $\text{Fe}(\text{CO})_5 + \text{CH}_2\text{CHCHCH}_2 \rightarrow \text{Fe}(\eta^4\text{-CH}_2\text{CHCHCH}_2)(\text{CO})_3 + 2\text{CO}$
- (iii) $\text{Mn}(\text{CH}_3)(\text{CO})_5 + \text{CO} \rightarrow \text{Mn}(\text{CO})_5(\text{COCH}_3)$
- (iv) $[\text{Pd}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})\text{Cl}_3]^{2-} \rightarrow [\text{Pd}(\eta^2\text{-CH}_2\text{CHOH})\text{Cl}_2\text{H}]^- + \text{Cl}^-$
- (v) $[\text{Rh}(\text{CO})_2(\text{COCH}_3)\text{I}_3]^- \rightarrow \text{cis-}[\text{Rh}(\text{CO})_2\text{I}_2]^- + \text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{I}$

- (A) 1
- (B) 2
- (C) 3
- (D) 4
- (E) 5

問 19 無機・分析化学

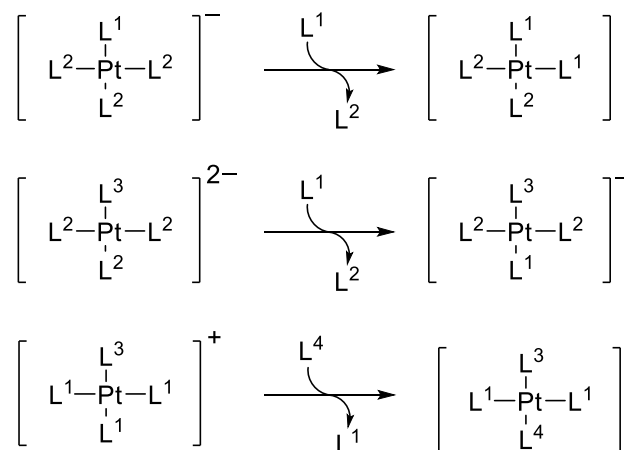
金属カルボニル錯体についての記述(i)~(v)のうち、正しいものの数を(A)~(E)から選べ。

- (i) $\text{Ru}_3(\text{CO})_{12}$ において、各 Ru 原子が 18 電子則を満たすために必要な Ru-Ru 結合の数は、 $\text{Ru}_3(\text{CO})_{12}$ あたり 2 である。
- (ii) $\text{Cr}(\text{CO})_6$ は、 $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ 、 $[\text{Cr}(\text{OH}_2)_6]^{3+}$ と比較して、CO 配位子の π 受容性のため、強い配位子場をもつ。
- (iii) $\text{V}(\text{CO})_6$ 、 $\text{Ni}(\text{CO})_4$ はいずれも常磁性である。
- (iv) CO 伸縮振動のエネルギーは、 $\text{Cr}(\text{CO})_6$ 、 $[\text{V}(\text{CO})_6]^-$ 、 $[\text{Ti}(\text{CO})_6]^{2-}$ の順に小さくなる。
- (v) $\text{Mo}(\text{CO})_6$ に 1 当量の $\text{Li}(\text{CH}_3)$ 、続いて 1 当量の $[(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{O}]^+\cdot\text{BF}_4^-$ を作用させて得られる錯体は、 $\text{Mo}(\text{CO})_6$ と同数の d 電子数をもつ。

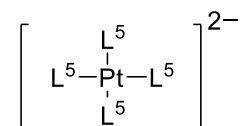
- (A) 1
- (B) 2
- (C) 3
- (D) 4
- (E) 5

問 20 無機・分析化学

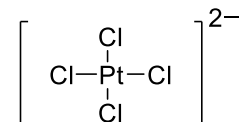
以下に示す平面正方形 Pt(II)錯体の 3 つの配位子置換反応において、 L^1 ~ L^4 の配位子の組み合わせとして正しいものを(A)~(E)から選べ。



ただし、



の L^5 が Cl^- である錯体は、



を意味する。

	L^1	L^2	L^3	L^4
(A)	NH_3	I^-	Cl^-	CN^-
(B)	I^-	Cl^-	NH_3	CN^-
(C)	NH_3	Cl^-	I^-	CN^-
(D)	Cl^-	I^-	CN^-	NH_3
(E)	CN^-	I^-	Cl^-	NH_3

無機・分析化学 2

無機・分析化学2

問 21 無機・分析化学

等核二原子分子の基底電子配置に関して、正しいものを(A)~(E)から選べ。

- (A) Cl_2 の分子軌道に収容されている電子数は 30 である。
- (B) F_2 では、反結合性軌道に収容されている電子数は 6 である。
- (C) N_2 の HOMO は、 σ 軌道である。
- (D) B_2 では、主量子数 2 のすべての結合性軌道は、電子で占有されている。
- (E) O_2 では、すべての電子はスピン対を形成している。

問 22 無機・分析化学

以下の記述に関して、正しいものを(A)~(E)から選べ。

- (A) 蛍石型構造をとるイオン結晶では、アニオンとカチオンの比率は 1:1 である。
- (B) 窒化ケイ素は、耐熱性に優れ、複数の多形をもつ化合物である。
- (C) CO_2 を 273 K で加圧していくと、超臨界流体が得られる。
- (D) Na は液体 NH_3 に溶解しない。
- (E) 水中での O_2 の四電子還元反応は、pH に依存しない。

問 23 無機・分析化学

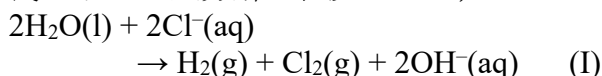
分子（単量体）(i)~(v)のうち、 $D_{\infty h}$ 点群に属さない分子の数を(A)~(E)から選べ。

- (i) CO_2
- (ii) SO_2
- (iii) O_3
- (iv) BeF_2
- (v) BaF_2

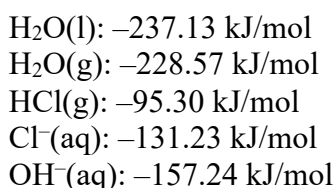
- (A) 1
- (B) 2
- (C) 3
- (D) 4
- (E) 5

問 24 無機・分析化学

食塩水の電気分解の総反応式は、



で表される。下記の標準モル生成ギブスエネルギー $\Delta_f G^\circ$ を用い、陰極で起こる反応の標準還元電位 E° として最も適当な値を(A)~(E)から選べ。ただし、ファラデー定数は $96,500 \text{ C/mol}$ とする。



- (A) -0.83 V
- (B) -1.23 V
- (C) $+0.74 \text{ V}$
- (D) $+0.83 \text{ V}$
- (E) $+1.23 \text{ V}$

問 25 無機・分析化学

食塩水の濃度が 1.0 mol/L 、 $\text{pH} = 7.0$ であるとき、理論上、問 24 (I) の電解反応を進行させるために必要な（最小）電圧として最も適当な値を(A)~(E)から選べ。過電圧は考えなくてもよいものとし、気体 ($\text{H}_2(\text{g})$) および $\text{Cl}_2(\text{g})$ の分圧を 101.3 kPa 、水の活量を 1、水の自己プロトリス定数 K_w を $1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$ とせよ。必要であれば、問 24 の標準モル生成ギブスエネルギー $\Delta_f G^\circ$ を用いてよい。また、酸化体 P, Q と還元体 X, Y 間の電子授受平衡 $p\text{P} + q\text{Q} + ne^- = x\text{X} + y\text{Y}$ における電極の電位 E は、次のネルンストの式 (II) で与えられるものとする。

$$E = E^\circ + (0.060/n) \log(a_{\text{P}}^p \cdot a_{\text{Q}}^q / a_{\text{X}}^x \cdot a_{\text{Y}}^y) \quad (\text{II})$$

- (A) 0.41 V
- (B) 0.95 V
- (C) 1.77 V
- (D) 2.40 V
- (E) 2.61 V

無機・分析化学 3

無機・分析化学3

問 26 無機・分析化学

水溶液 X のある波長における吸光度測定を行った。ブランクの測定として、本来は水を用いるべきところを、誤って水溶液 X を 5 倍に希釈した溶液を用いてしまい、吸光度 $A = 1.2$ を得た。真の吸光度 A として最も適当な値を(A)~(E)から選べ。ただし、これらの測定は Lambert-Beer の法則に従うものとする。

- (A) 1.5
- (B) 1.7
- (C) 1.9
- (D) 4.8
- (E) 6.0

問 27 無機・分析化学

2.0×10^{-2} mol/L の塩化アンモニウム水溶液と、 2.0×10^{-3} mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を、体積比 1:2 で混合したときの pH として、最も適当な値を(A)~(E)から選べ。ただし、すべての反応は 25°C で行われ、水の自己プロトシス定数 K_w を 1.0×10^{-14} (mol/L)²、アンモニアの pK_b を 4.7 とせよ。また、必要であれば $\log 2 = 0.30$, $\log 3 = 0.48$, $\log 4 = 0.60$, $\log 5 = 0.70$ を用いてよい。

- (A) 5.3
- (B) 5.6
- (C) 8.4
- (D) 8.7
- (E) 9.9

問 28 無機・分析化学

ジエチルエーテルを用いて、安息香酸 (HA) 水溶液の抽出を行う。HA の水とジエチルエーテル間の分配比を D 、分配係数を K_D ($= [\text{HA}(\text{有機相})] / [\text{HA}(\text{水相})]$) とする。HA の酸解離定数を K_a 、水相のプロトン濃度を $[\text{H}^+]$ とするとき、 D と K_D との関係を表す式を(A)~(E)から選べ。

- (A) $D = K_D [\text{H}^+] / K_a$
- (B) $D = K_a [\text{H}^+] / K_D$
- (C) $D = K_D [\text{H}^+] / (1 + K_a)$
- (D) $D = K_D [\text{H}^+] / ([\text{H}^+] + K_a)$
- (E) $D = K_D / ([\text{H}^+] + K_a)$

問 29 無機・分析化学

立体異性体の数が最も多い金属錯体を(A)~(E)から選べ。M は金属イオン、 L^1, L^2, L^3, L^4 は異なる単座配位子、 L^5-L^6 は、*N,N*-ジメチルエチレンジアミンのように、異なる 2 つの *cis* 型配位部位をもつ二座キレート配位子とする。

- (A) 6 配位八面体錯体 $[\text{M}(\text{L}^1)_3(\text{L}^2)_3]$
- (B) 4 配位四面体錯体 $[\text{M}(\text{L}^5-L^6)_2]$
- (C) 4 配位平面正方形錯体 $[\text{M}(\text{L}^1)_2(\text{L}^2)_2]$
- (D) 4 配位平面正方形錯体 $[\text{ML}^1\text{L}^2\text{L}^3\text{L}^4]$
- (E) 4 配位平面正方形錯体 $[\text{ML}^1\text{L}^2(\text{L}^5-L^6)]$

問 30 無機・分析化学

水酸化鉄は水に対する溶解度が低いが、塩化鉄(III)は水によく溶ける。298 K での溶解度積 K_{sp} の値は、水酸化鉄(II)は 5.0×10^{-17} 、水酸化鉄(III)は 2.5×10^{-39} であるとする。

(i)~(iv)の記述のうち、正しいものの数を (A)~(E)から選べ。

- (i) 0.10 mol/L の塩化鉄(III)の水溶液を、 KMnO_4 を用いて酸化した後、1.0 mol の KOH を加えると水酸化鉄(II)が沈殿する。
- (ii) $\text{pH} = 12$ の水酸化鉄(III)の飽和水溶液では、溶存する Fe^{3+} の濃度は 3.0×10^{-35} より小さい。
- (iii) 298 K で調製した水酸化鉄(II)の飽和水溶液 1 L を 313 K に加熱し、 NaCl を 0.10 mol 溶解させたところ、水酸化鉄(II)の沈殿が生じた。
- (iv) 塩化鉄(III)の飽和水溶液 1 L に、 KOH を 0.10 mmol 加えると、溶存する Fe^{3+} の濃度は、 1.0×10^{-26} mol/L より小さい。

- (A) 0
- (B) 1
- (C) 2
- (D) 3
- (E) 4

物理化学 1

物理化学1

問 31 物理化学

実在気体の挙動を記述する近似式の一つに、ファン・デル・ワールス状態方程式：

$$\left(p + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

がある。ここで、 p は気体の圧力、 V は体積、 n は物質量、 R は気体定数、 T は絶対温度、 a, b はファン・デル・ワールス定数である。気体がファン・デル・ワールス状態方程式に従うとき、完全気体として近似したときの違いに関して、下線部が適切な記述を(A)~(E)から選べ。必要であれば、 $R = 8.31 \text{ J/K}\cdot\text{mol}$ 、 $a = 0.40 \text{ Pa}\cdot\text{m}^6/\text{mol}^2$ 、 $b = 4.0 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$ を用いよ。

- (A) 完全気体と比較し、ファン・デル・ワールス補正項を加えた場合、排除体積 b により有効体積が減少するため、実在気体の圧力は常にこれより高くなる。
- (B) 1.0 mol の気体が $T = 300 \text{ K}$ 、体積 $V = 0.010 \text{ m}^3$ の容器に閉じ込められているとき、実在気体の圧力と完全気体の圧力の差は約 3.0 kPa である。
- (C) 完全気体における体積 V_i から V_f への準静的等温膨張におけるエントロピー変化 $\Delta S = nR \ln \frac{V_f}{V_i}$ の式は、実在気体に対しても同様に成立する。
- (D) 完全気体では内部エネルギーは温度のみに依存するが、実在気体では体積にも依存するため、等温過程においても内部エネルギーは変化しない。
- (E) 実在気体には、いくら圧縮しても液化しない臨界温度が存在し、臨界温度は、 a の値が大きいほど低くなる。

問 32 物理化学

熱力学第二法則に関する次の記述のうち、下線部が適切な記述を(A)~(E)から選べ。

- (A) 一つの熱浴から熱を取り出し、その全てを仕事に変えることは、過程が可逆で断熱的であれば理論的に可能である。
- (B) エントロピーが減少する過程は自然界では観測されないため、ある系のエントロピーは可逆過程であっても減少することはない。
- (C) 冷たい物体から熱を取り出し、それを高温の熱浴に移動させる過程は、外部からの仕事を加えずに実行することが可能である。
- (D) 孤立系では、準静的かつ可逆な過程ではエントロピーは変わらないが、不可逆な過程ではエントロピーは増加する。
- (E) 熱機関の効率を上げるには、冷却側の熱浴の温度を高くすることが有効である。

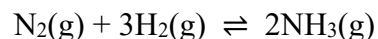
問 33 物理化学

以下は理想溶液に関する記述である。下線部が適切な記述を (A)~(E) から 1 つ選べ。

- (A) 溶質と溶媒の粒子間の相互作用エネルギーを起源として, 純溶媒に溶質を加えると溶媒の化学ポテンシャルは変化する。
- (B) 溶媒の蒸気圧はヘンリーの法則に従い, 純溶媒の蒸気圧と溶媒のモル分率の積で表される。
- (C) 純溶媒に溶質を加えると, 溶媒の化学ポテンシャルは増大する。
- (D) ベンゼンのモル蒸発エンタルピーは水のそれより小さいため, ベンゼンの沸点上昇定数は水のそれより高い。
- (E) 混合に伴うエンタルピー変化は正の値をとる。

問 34 物理化学

体積 2.00 L の容器に, 1.00 mol の N_2 と 2.50 mol の H_2 を入れて加熱し, ある温度に保ったところ, 次の反応式のように平衡に達した。



平衡時に NH_3 が 1.00 mol 生成していた。また, 容器中の N_2 , H_2 , NH_3 はすべて気体であった。このときの平衡定数 K_c の値として, 適切なものを(A)~(E)から選べ。

- (A) 8.00
- (B) 32.0
- (C) 2.00
- (D) 16.0
- (E) 4.00

問 35 物理化学

ある液体の温度 T における蒸気圧 p が下の表のように得られた。

T / K	p / Pa
300	4,000
333	20,000

この液体の温度に対する蒸気圧変化がクラウジウス-クラペイロンの式

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta_{\text{vap}}H}{R} \frac{p}{T^2}$$

で与えられるとき、この液体のモル蒸発エンタルピー $\Delta_{\text{vap}}H$ の値として最も適切なものを (A)~(E) から選べ。ここで、 R は気体定数である。必要であれば、以下の式を用いよ。

$$\frac{dx}{x} = d(\ln x), \ln 2 = 0.69, \ln 5 = 1.61$$

- (A) $5 \times 10^{-2} R$
- (B) $5 R$
- (C) $5 \times 10^2 R$
- (D) $5 \times 10^3 R$
- (E) $5 \times 10^7 R$

物理化学 2

物理化学2

問 36 物理化学

1次元量子調和振動子 (振動数 ν) の分配関数 q^V について答えよ。分配関数 q^V の計算では、基底状態をエネルギーの原点 (すなわち0) にとるようにする。

分配関数 q^V を計算し、その高温極限と低温極限として、適切なものを(A)~(E)から選べ。

式中の β は、ボルツマン定数 k と温度 T を用いて $\beta = 1 / (kT)$ と定義する。 h はプランク定数である。

	高温極限	低温極限
(A)	$\frac{1}{\beta h \nu}$	0
(B)	$\frac{1}{\beta h \nu}$	$e^{-\beta h \nu}$
(C)	$-\frac{1}{\beta h \nu}$	0
(D)	$-\frac{1}{\beta h \nu}$	1
(E)	$\frac{1}{\beta h \nu}$	1

問 37 物理化学

異核二原子分子の回転運動の分配関数 q^R は高温極限において次式で与えられる。

$$q^R = \frac{T}{\sigma \theta^R}$$

ここで、回転特性温度 $\theta^R = 2.0$ K, 温度 $T = 300$ K, ボルツマン定数 $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K とする。 σ は対称数を表す。

このとき、1粒子あたりの回転運動による平均エネルギー $\langle E^R \rangle$ を分配関数から計算せよ。求めた値として最も適切なものを(A)~(E)から選べ。

ヒント: 平均エネルギー $\langle E \rangle$ は、分配関数 q を用いて次式から求めることができる。

$$\langle E \rangle = -\frac{\partial \ln q}{\partial \beta}$$

ただし、 $\beta = 1 / (kT)$ とする。

- (A) 2.07×10^{-21} J
- (B) 4.14×10^{-21} J
- (C) 6.21×10^{-21} J
- (D) 8.28×10^{-21} J
- (E) 1.03×10^{-20} J

問 38 物理化学

以下は正準アンサンブルに関する記述である。下線部が適切な記述を (A)~(E) から 1 つ選べ。

正準アンサンブルでは、温度 T 、体積 V 、粒子数 N が一定であり、系の状態はエネルギー E_i を持つマイクロ状態 i が確率

$$P_i = \frac{e^{-\beta E_i}}{Q}$$

で実現する。ここで Q は分配関数であり、 $\beta = 1/(kT)$ である。 k はボルツマン定数である。

(A) ヘルムホルツエネルギーは次式で与えられる。

$$A = -kT \ln Q$$

ただし、 $T = 0$ のとき $A = 0$ とする。

(B) アンサンブルのすべてのマイクロ状態が同じ確率で出現する。

(C) 熱浴に接しているアンサンブル全体の平均のエネルギーは一定ではない。

(D) 分配関数 Q は一般に系の体積 V に依存しない。

(E) 分子に相互作用がなく区別ができない場合は、分子分配関数 q を用いて、 $Q = q^N$ と表記できる。

問 39 物理化学

物質 X と Y から反応 $X + Y \xrightarrow{k} Z$ によって物質 Z が生成した。この反応の速度式は、

$$v = \frac{k[X]^{1/2}[Y]^2}{[Y] + [Z]}$$

であった。この反応が反応開始直後に示す反応次数として最も適切なものを (A)~(E) から選べ。ここで、 v は反応速度、 k は速度定数、 $[]$ は濃度である。

(A) 0.5 次

(B) 1 次

(C) 1.5 次

(D) 2 次

(E) 2.5 次

問 40 物理化学

反応 $X \rightarrow Y$ が速度式 $\frac{d[X]}{dt} = -k[X]^2$ に従って進行している(t : 時間, k : 速度定数)。この反応において, 反応物 X の濃度 $[X]$ が初濃度 $[X]_0$ の半分となる時間 ($t_{1/2}$) と初濃度 $[X]_0$ の 4 分の 1 となる時間 ($t_{1/4}$) の比として, 最も適切なもの を (A)~(E) から選べ。

- (A) 1
- (B) 1/2
- (C) 1/3
- (D) 1/4
- (E) 1/5

物理化学 3

物理化学3

問 41 物理化学

ある回転状態の分子波動関数が球座標を用いて

$$Y_{10}(\theta, \phi) = N \cos \theta$$

で与えられている。 $0 \leq \theta \leq \pi, 0 \leq \phi \leq 2\pi$ であることに注意して、規格化因子 N として正しいものを(A)~(E)から選べ。必要であれば、立体角要素 $d\Omega = \sin \theta d\theta d\phi$ を用いよ。

- (A) 1
- (B) $2/\pi$
- (C) $\sqrt{2/\pi}$
- (D) $\sqrt{2/(3\pi)}$
- (E) $\sqrt{3/(4\pi)}$

問 42 物理化学

次の(A)~(E)のうち下線部に誤りがあるものを一つ選べ。

- (A) 二つの演算子 \hat{A} と \hat{B} が可換である場合、 $[\hat{A}, \hat{B}] = 0$ が成り立つ。
- (B) 可換な演算子 \hat{A} と \hat{B} に対応した物理量は任意の精度で同時に測定できる。
- (C) 角運動量演算子 \hat{l}^2 はエルミート演算子である。
- (D) \hat{l}_z に対応する古典角運動量は $l_z = xp_y - yp_x$ で与えられる。ただし p_x および p_y は x, y 軸方向の運動量である。これから、
$$\hat{l}_z = -i\hbar \left(x \frac{\partial}{\partial y} - y \frac{\partial}{\partial x} \right)$$
 であることがわかる。
- (E) 角運動量演算子 \hat{l}^2 と \hat{l}_z は非可換である。

問 43 物理化学

調和振動子近似における 2 原子分子の振動に関する記述のうち、下線部に誤りがあるものを(A)~(E)から一つ選べ。ただし、 x は平衡核間距離からの変位、 k は力の定数、 μ は換算質量である。また $\hbar = h/2\pi$ 、 h はプランク定数である。

(A) ハミルトン演算子は

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2\mu} \frac{d^2}{dx^2} + \frac{1}{2} kx^2$$

で与えられる。

(B) 波動関数が $\varphi(x) = Ae^{-ax^2}$ と与えられるとき、シュレディンガー方程式から $a = \sqrt{k\mu/(2\hbar)}$ であることがわかる。ただし A は定数である。

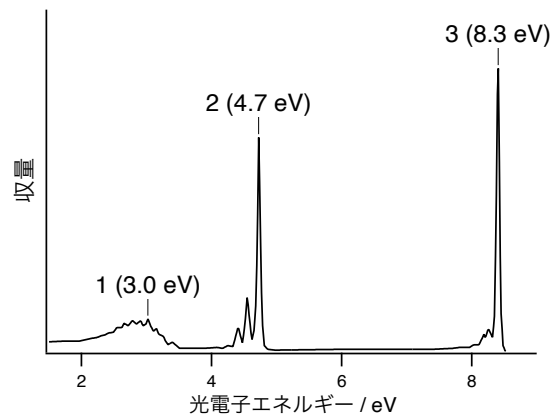
(C) (B)の波動関数に対応するエネルギー固有値は $E = 2\hbar^2 a/\mu$ である。

(D) 換算質量は 2 つの原子の質量をそれぞれ M, m として、 $\mu = Mm/(M+m)$ である。

(E) 核間距離の期待値は振動量子数によって変化しない。

問 44 物理化学

下図は He I 光源 (波長 58.4 nm) を用いて測定した N_2O 分子の光電子スペクトルで、ピーク 3 が最大のエネルギーをもつ。また、 N_2O の電子配置は $\dots(1\pi)^4(7\sigma)^2(2\pi)^4$ である。下線部の記述が最も適切なものを、次の(A)~(E)から選べ。ただし、光速 $c = 2.998 \times 10^8$ m/s、プランク定数 $h = 6.626 \times 10^{-34}$ J·s、 $1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19}$ J である。



(A) 波長 58.4 nm の光子エネルギーは 48 eV である。

(B) N_2O のイオン化ポテンシャルは、18.2 eV である。

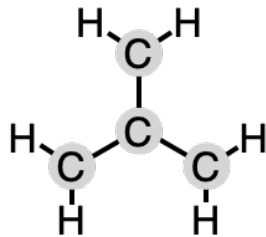
(C) N_2O^+ の電子基底状態と第一励起状態のエネルギー差は 1.7 eV である。

(D) N_2O の 7σ 軌道のエネルギーは -16.5 eV である。

(E) N_2O 基底状態と比べて、平衡分子構造が最も大きく異なるのは、 N_2O^+ の 3 つの電子状態のうち ピーク 3 のものである。

問 45 物理化学

下図に示すトリメチレンメタン (C_4H_6) の電子, 振動, 回転状態について考える。 C_4H_6 は電子基底状態にある。振動基底状態の平衡構造として分子中の全ての原子が同一平面上にあり, 全ての C-C 結合および C-H 結合がそれぞれ等価であるとして, 次の (A)~(E)のうち下線部に誤りがあるものを一つ選べ。



- (A) 炭素原子 $2p$ 軌道を用いたヒュッケル近似のもとで分子軌道エネルギー E を求めたところ, E が満たす式として
- $$(\alpha - E)^2[(\alpha - E)^2 - 3\beta^2] = 0$$
- が得られた。ただし, α, β はいずれも負の値をもつ数である。これから, 全 π 電子エネルギーは $4\alpha + 2\sqrt{3}\beta$ であることがわかる。
- (B) 電子基底状態は 1 重項である。
- (C) 分子回転の自由度は 3 である。
- (D) 基準振動モードの数は 24 である。
- (E) 面外分子振動は電気双極子が誘起されるので 赤外活性 である。

生物化学 1

生物化学 1

問 46 生物化学

タンパク質に起こる化学反応に関する以下の記述(1)~(4)について、正しいものは○、誤っているものは×として、正しい組み合わせを表の(A)~(E)から選べ。

- (1) ヒストンのリジン残基メチル化は、修飾部位によって、転写の活性化または抑制のいずれにも働く。
- (2) アセチル化は、ヒストンタンパク質以外にも転写因子や代謝酵素などの機能調節に関わる。
- (3) 翻訳後のリン酸化は主に Ser, Thr, Tyr の水酸基に起こり、シグナル伝達に重要である。
- (4) ジスルフィド結合の形成は主に細胞質内で起こる。

	(1)	(2)	(3)	(4)
(A)	○	○	○	×
(B)	○	×	○	○
(C)	×	○	×	×
(D)	×	×	×	×
(E)	×	×	×	○

問 47 生物化学

生体膜の流動性に関する以下の記述のうち正しいものはどれか。(A)~(E)から選べ。

- (A) 脂質二重膜中のトランス脂肪酸は、対応するシス脂肪酸より膜流動性を高める。
- (B) 温度が低下すると、細胞は一般に飽和脂肪酸比率を高めて流動性を維持する。
- (C) コレステロールは高温では脂質の運動を抑制し、低温では秩序化を阻害して流動性を保つ。
- (D) 脂質分子のフリップフロップ（縦方向移動）はラテラル拡散よりもはるかに速く起こる。
- (E) FRAP (fluorescence recovery after photobleaching)は膜タンパク質の内在化速度を測定する実験法である。

問 48 生物化学

二本鎖 DNA にシトシンが 19%含まれるとき、アデニンの割合(%)として正しいものはどれか。(A)~(E)から選べ。

- (A) 19
- (B) 24
- (C) 31
- (D) 38
- (E) 62

問 49 生物化学

mRNA の UUU コドンを認識する tRNA^{Phe} のアンチコドンとして最も適切なものを (A)~(E)から選べ。なお、記号の意味を以下に示す。Gm : 2'-O-メチルグアノシン, I : イノシン, ψ : シュードウリジン

- (A) AGA
- (B) G ψ A
- (C) AAG
- (D) GmAA
- (E) AI ψ

問 50 生物化学

クエン酸回路に関する以下の記述(1)~(4)について、誤っているものはいくつあるか。(A)~(E)から選べ。

- (1) ミトコンドリアで生成されたクエン酸は細胞質へ輸送され、脂肪酸合成に必要なアセチル CoA を供給する。
- (2) α -ケトグルタル酸はアミノ基転移反応によりグルタミン酸となり、そのグルタミン酸がアミノ酸合成など窒素代謝に利用される。
- (3) クエン酸回路で生じた NADH と FADH₂ は電子伝達系に電子を供給し、ミトコンドリア内膜での酸化リン酸化により ATP が合成される。
- (4) スクシニル CoA はヘム生合成の前駆体として利用される。

- (A) 0 個
- (B) 1 個
- (C) 2 個
- (D) 3 個
- (E) 4 個

生物化学2

生物化学 2

問 51 生物化学

ペプチド配列解析法 (Edman 分解法および BrCN 切断法) に関する以下の記述(1)~(4)について, 正しいものは○, 誤っているものは×として, 正しい組み合わせを表の(A)~(E)から選べ。

- (1) フェニルイソチオシアネート(PITC)はペプチドの C 末端カルボキシ基と反応する。
- (2) Edman 分解法ではイソロイシンとロイシンを区別できない。
- (3) BrCN はシステインのチオール基を切断する。
- (4) BrCN によるペプチド鎖切断においては還元剤の添加が必要である。

	(1)	(2)	(3)	(4)
(A)	×	×	×	×
(B)	×	○	×	○
(C)	×	○	○	×
(D)	○	×	×	×
(E)	○	×	○	○

問 52 生物化学

ある膜輸送体の基質流量 J を基質濃度 $[S]$ に対して測定したところ, 低濃度域では J は $[S]$ に比例し, 高濃度域では飽和に達し双曲線を示した。さらに基質と構造類似の化合物を加えると曲線全体が $[S]$ の高濃度側に平行移動した。この輸送様式として最も適切なものはどれか。(A)~(E)から選べ。

- (A) イオンチャンネルを介する単純拡散
- (B) キャリアタンパクによる受動仲介輸送
- (C) イオノフォアによる促進拡散
- (D) ポリンによる非選択的孔輸送
- (E) 一次能動輸送ポンプ

問 53 生物化学

DNA 複製に関する以下の記述(1)~(4)について、正しいものは○、誤っているものは×として、正しい組み合わせを表の(A)~(E)から選べ。

- (1) 岡崎フラグメントは DNA 二本鎖の両鎖（リーディング鎖・ラギング鎖双方）に生じ、DNA リガーゼにより連結される。
- (2) B-DNA は左巻き二重らせんで、1 回転当たり約 12 塩基対をもつ。
- (3) 原核生物では RNA プライマーは DNA ポリメラーゼ I の 5'→3'エキソヌクレアーゼ活性により除去され、DNA リガーゼがニックを修復する。
- (4) 真核線状染色体では、最終プライマーが DNA に置換されないため複製のたびに末端が短縮するが、がん細胞ではテロメラーゼが新たな繰り返し配列を付加することで末端配列を維持することができる。

	(1)	(2)	(3)	(4)
(A)	○	×	○	○
(B)	×	○	×	○
(C)	×	×	○	○
(D)	○	○	○	○
(E)	×	×	○	×

問 54 生物化学

アミノアシル tRNA シンターゼに関する以下の記述(1)~(4)について、正しいものは○、誤っているものは×として、正しい組み合わせを表の(A)~(E)から選べ。

- (1) イソロイシル tRNA シンターゼは誤ってバリンを活性化することがあるが、その場合、酵素内の編集サイトが Val-AMP を加水分解して校正する。
- (2) イソロイシル tRNA シンターゼの編集サイトは疎水性ポケットが広く、Val-AMP と Ile-AMP の両方が入ることができる。
- (3) 校正が失敗してバリンが担持された tRNA^{Ile} がリボソームへ送られると、ポリペプチド中にバリンが誤挿入される。
- (4) 誤って tRNA^{Ile} に導入されたバリンが校正によって除去された後、同じ tRNA^{Ile} 分子はイソロイシンで正しくアシル化され直すことができる。

	(1)	(2)	(3)	(4)
(A)	○	×	○	○
(B)	○	×	×	×
(C)	×	○	○	○
(D)	○	○	×	○
(E)	×	×	○	×

問 55 生物化学

ピルビン酸を原料としてアセチル CoA が合成される過程で、補酵素 X と NAD^+ が関与する。補酵素 X の構造として正しいものを(A)~(E)から選べ。

