

# 京都大学大学院工学研究科

先端化学専攻群 修士課程

(物質エネルギー化学専攻, 分子工学専攻, 合成・生物化学専攻)

## 2026年度入学資格試験問題

第1日 (2025年8月6日)

# 化学Ⅱ

《550点》

注意 : 問題は、物理化学・有機化学・無機化学の合計3科目あり、すべて必須問題です。

この問題冊子の本文は14ページあります。落丁・乱丁がある場合は試験監督に申し出てください。解答は解答冊子の指定された箇所に記入しなさい。

( 試験時間 13:00 ~ 16:00 )

【下書き用紙】

## 物理化学（200点）（必須問題）

問1 つぎの文章を読んで、以下の（1）～（4）の問いに答えよ。

図1は、ある純物質の圧力  $P$  と温度  $T$  に関する相図 ( $P$ - $T$  図) であり、点 A は三重点、点 B は臨界点である。クラペイロンの式を気液平衡において考えるとき、

- ・仮定1 気体のモル体積が液体のモル体積より十分に大きい。
- ・仮定2 気体が理想気体の状態方程式に従う。

の二つの仮定を適用して整理すると、

$$\frac{d \ln P}{d(1/T)} = - \frac{\Delta_v H}{R} \quad (\text{i})$$

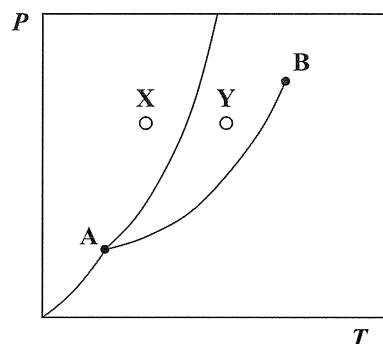


図1 純物質の相図 ( $P$ - $T$  図)

が得られる。 $\Delta_v H$  はモル蒸発エンタルピー変化、 $R$  は気体定数である。 $\Delta_v H$  が  $P$  および  $T$  に依存しない定数とみなして式(i)を積分すると、気液相境界線を表す式が導出される。標準圧  $P^\circ$ 、標準圧における沸点（標準沸点） $T^\circ$ 、標準沸点におけるモル蒸発エンタルピー変化  $\Delta_v H^\circ$  を用いて、気液相境界線を  $P=f(T)$  の形で表すと、

$$P = \boxed{\text{ (あ) }} \quad (\text{ii})$$

となる。ここで、状態 L( $P^\circ, T_1$ ) から標準沸点 ( $P^\circ, T^\circ$ ) を経て状態 G( $P^\circ, T_2$ ) に状態変化させたときのモルエンタルピー変化  $\Delta H_{T_1 \rightarrow T_2}$  を求めたい。液相における定圧熱容量  $C_L$  を温度の関数とし、 $T_1$  から  $T^\circ$  に温度を変化させた際のモルエンタルピー変化  $\Delta H_L$  を表すと、

$$\Delta H_L = \boxed{\text{ (い) }} \quad (\text{iii})$$

となる。同様に、気相における定圧熱容量  $C_G$  を温度の関数とし、 $T^\circ$  から  $T_2$  に温度を変化させた際のモルエンタルピー変化  $\Delta H_G$  を表すと、

$$\Delta H_G = \boxed{\text{ (う) }} \quad (\text{iv})$$

となる。よって、

$$\Delta H_{T_1 \rightarrow T_2} = \boxed{\text{ (い) }} + \boxed{\text{ (う) }} + \boxed{\text{ (え) }} \quad (\text{v})$$

である。ただし、 $T_2 > T^\circ > T_1$  とする。

(次頁へ続く)

- (1) 次の語群を用いて、図1に関する (a) ~ (d) の問いに答えよ。なお、同じ語句を複数回使用して構わない。

<語群>

濃度, 成分数, 圧力, 温度, 分子数, 共存する相の数, 示強変数,  
固相, 液相, 気相, 超臨界状態, 気液相境界線, 固液相境界線,  
気固相境界線, 蒸発, 凝縮, 融解, 凝固, 昇華

- (a) 点 A から低温かつ低圧の領域に伸びる曲線を何と呼ぶか、語群から最も適切なものを選べ。
- (b) 点 X から点 Y に温度のみを変化させて状態変化させた。この状態変化を何と呼ぶか、語群から最も適切なものを選べ。
- (c) 点 A における自由度  $F$  は 0 である。語群から選んだ 2 つ以上の語句を用い、ギブズの相律に基づいて、その理由を簡潔に説明せよ。
- (d) 点 B はどのような点か、語群から選んだ 5 つ以上の語句を用いて簡潔に説明せよ。
- (2) 気液相境界線に関する (a), (b) の問いに答えよ。
- (a) 式(ii)において、空欄  にあてはまる式を示せ。
- (b) 標準沸点  $T^\circ = 353 \text{ K}$ 、標準沸点におけるモル蒸発エントロピー変化  $\Delta_v S^\circ = 87.3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  であるとき、温度  $300 \text{ K}$  における蒸気圧  $P$  を計算し、標準圧  $P^\circ$  に対する相対圧  $P/P^\circ$  で示せ。なお、 $R = 8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  とし、有効数字を 2 桁で解答せよ。
- (3) 式(iii), (iv), (v)において、空欄 , , および  にあてはまる式をそれぞれ示せ。

(次頁へ続く)

- (4) 種々の物理量  $X_j$  について、添え字  $j$  は物質名を示すものとする。例えば、 $X_b$  はベンゼン、 $X_t$  はトルエンの物理量である。等温定圧下、密閉容器中でベンゼンとトルエンをそれぞれ  $n_j$  モルずつ混ぜ合わせて混合溶液を調製した。なお、ベンゼンとトルエンの混合溶液は全組成で理想溶液としてふるまうとする。混合溶液中の化学ポテンシャル  $\mu_j$  は、気液平衡状態にある溶液の蒸気圧  $P_j$  と標準圧  $P^\circ$  を用いて、

$$\mu_j = \mu_j^\circ + RT \ln \frac{P_j}{P^\circ} \quad (\text{vi})$$

と表される。ラウールの法則を適用し自然対数の項を分解すると、

$$\mu_j = \mu_j^* + RT \ln x_j, \quad \text{ただし } \mu_j^* = \mu_j^\circ + RT \ln \frac{P_j^*}{P^\circ} \quad (\text{vii})$$

が得られる。ここで、各純物質の化学ポテンシャルを  $\mu_j^*$ 、各純物質の蒸気圧を  $P_j^*$ 、混合溶液中のモル分率を  $x_j$ 、標準状態における各純物質の化学ポテンシャルを  $\mu_j^\circ$  とする。以下の (a) ~ (e) の問いに答えよ。

- (a) 混合前の系全体のギブズエネルギー  $G_i$  を示せ。  
 (b) 混合後の系全体のギブズエネルギー  $G_f$  を示せ。  
 (c) 混合前後の系全体のギブズエネルギー変化  $\Delta_{\text{mix}}G$  は

$$\Delta_{\text{mix}}G = nRT(\boxed{\text{お}}) \quad (\text{viii})$$

である。ただし、 $n$  は、

$$n = n_b + n_t \quad (\text{ix})$$

を満たす。空欄  $\boxed{\text{お}}$  にあてはまる式を示せ。

- (d) ベンゼンとトルエンの混合が自発的に進行する理由を、式(viii)を用いて説明せよ。  
 (e) 温度  $T=300\text{ K}$  において、 $P_b^* = 15.9\text{ kPa}$ 、 $P_t^* = 5.52\text{ kPa}$  である。密閉容器内で混合溶液が気液平衡に達したときの気相の全圧  $P_{\text{total}}$  は、

$$P_{\text{total}} / \text{kPa} = 15.9x_b + 5.52(1 - x_b) \quad (\text{x})$$

と表される。 $T=300\text{ K}$  において気相のベンゼンのモル分率が  $0.77$  であるとき、混合溶液中のトルエンのモル分率  $x_t$  を有効数字  $2$  桁で求めよ。

(次頁へ続く)

問2 つぎの文章を読んで、以下の(1)～(9)の問いに答えよ。

直鎖ならびに環状の $\pi$ 共役系の電子構造を単純ヒュッケル近似の下で考える。直鎖 $\pi$ 共役系では原子の位置は一方の末端より順に附番するものとする。 $\chi_i$ を原子 $i$ の規格化された $p_z$ 軌道として、異なる原子位置どうしでは重なりがないものとし、例えば、エチレン $C_2H_4$ の分子軌道を

$$\psi = C_1\chi_1 + C_2\chi_2 = (\chi_1 \chi_2) \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix} = (\chi_1 \chi_2)\mathbf{C}$$

として、 $\psi$ を列ベクトル $\mathbf{C}$ で表すことにする。エチレンのヒュッケル行列 $\mathbf{H}_2$ は、

$$\mathbf{H}_2 = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \beta & \alpha \end{pmatrix}$$

である。ここで $\alpha$ はクーロン積分、 $\beta$ は共鳴積分であり、いずれも負の値である。 $\mathbf{H}_2$ の固有値問題を解き、得られた固有値 $E$ がヒュッケル近似のもとの分子軌道エネルギー $E$ 、固有ベクトル $\mathbf{C}$ の成分が分子軌道係数 $C_i$ となる。すなわち、固有値問題

$$\begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \beta & \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix} = E \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix}$$

を解くことになる。右辺を左辺に移項すると

$$\begin{pmatrix} \alpha - E & \beta \\ \beta & \alpha - E \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

となる。この両辺を $\beta$ で割って $\frac{\alpha - E}{\beta} = -x$ とおくと、解くべき方程式は

$$\begin{pmatrix} -x & 1 \\ 1 & -x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (i)$$

と変形される。これが自明でない解をもつ条件は

$$\begin{vmatrix} -x & 1 \\ 1 & -x \end{vmatrix} = x^2 - 1 = (x+1)(x-1) = 0$$

となり、 $x = \pm 1$ を得る。 $E = \alpha + x\beta$ であるのでエチレンの分子軌道エネルギーは

$$E_1 = \alpha + \beta, \quad E_2 = \alpha - \beta$$

と求まる。 $x = \pm 1$ をそれぞれ式(i)に代入して $C_1, C_2$ を求めると、分子軌道は

$$\mathbf{C}_1 = \begin{pmatrix} 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{2} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{C}_2 = \begin{pmatrix} 1/\sqrt{2} \\ -1/\sqrt{2} \end{pmatrix}$$

と求められる。なお、これらは規格化されている。

(次頁へ続く)

同様にアリルカチオン  $C_3H_5^+$  のヒュッケル行列  $H_3$  は

$$H_3 = \begin{pmatrix} \alpha & \beta & 0 \\ \beta & \alpha & \beta \\ 0 & \beta & \alpha \end{pmatrix}$$

となり、分子軌道  $C_1, C_2, C_3$  の軌道エネルギーは、それぞれ

$$E_1 = \alpha + \sqrt{2}\beta, E_2 = \alpha, E_3 = \alpha - \sqrt{2}\beta$$

となる。アリルカチオンの規格化した最高被占軌道(HOMO)  $C_1$ 、および空軌道のうち最低空軌道(LUMO)の次にエネルギーの低い分子軌道(next LUMO)  $C_3$  は

$$C_1 = \begin{pmatrix} 1/2 \\ 1/\sqrt{2} \\ 1/2 \end{pmatrix}, C_3 = \begin{pmatrix} 1/2 \\ -1/\sqrt{2} \\ 1/2 \end{pmatrix}$$

となる。図1はこれらを図示したものである。

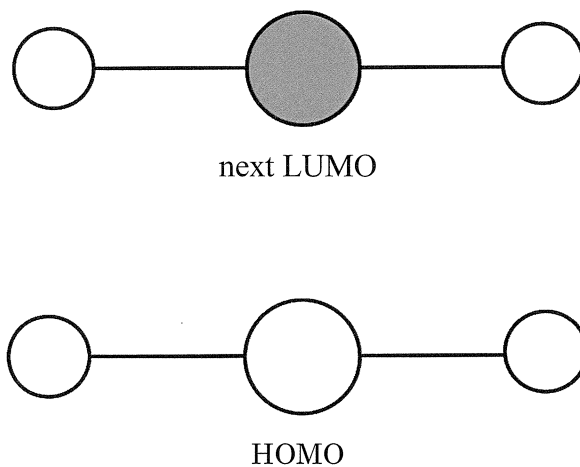


図1 アリルカチオンの分子軌道。HOMO と next LUMO。

次に、アリルカチオン  $C_3H_5^+$  の中央の炭素原子がヘテロ原子 X に置換された分子を考える。ただし、 $\pi$  電子数はヘテロ置換によって変化しないとする。以下ではこの分子をヘテロ置換体とよぶ。このヘテロ置換の効果を次のような摂動

$$V = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

で表すことにする。ここで、 $\lambda$ は正とする。摂動をこのようにとる仮定は、ヘテロ置換によって共鳴積分は変化せず、クーロン積分のみが変化することに対応している。ヘテロ置換による摂動を受けたヒュッケル行列は

$$H_3' = H_3 + V$$

となる。

(次頁へ続く)

1 次摂動論より，一般に摂動をうけた分子軌道エネルギー  $E_n'$  と分子軌道  $\mathbf{C}_n'$  は，ベクトルと行列を用いて表すと

$$E_n' = E_n + \mathbf{C}_n^T \mathbf{V} \mathbf{C}_n \quad (\text{ii})$$

$$\mathbf{C}_n' = \mathbf{C}_n + \sum_{m \neq n} \mathbf{C}_m \left( \frac{\mathbf{C}_m^T \mathbf{V} \mathbf{C}_n}{E_n - E_m} \right) \quad (\text{iii})$$

により求めることができる。ここで  $\mathbf{C}_m^T$  は列ベクトル  $\mathbf{C}_m$  を転置した行ベクトルである。なお， $\mathbf{C}_n'$  は規格化されていない。

上記の 1 次摂動論より，ヘテロ置換体の HOMO  $\mathbf{C}_1'$  は

$$\mathbf{C}_1' = \mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2 \left( \frac{\mathbf{C}_2^T \mathbf{V} \mathbf{C}_1}{E_1 - E_2} \right) + \mathbf{C}_3 \left( \frac{\mathbf{C}_3^T \mathbf{V} \mathbf{C}_1}{E_1 - E_3} \right) \quad (\text{iv})$$

から求めることができる。これを計算すると

$$\mathbf{C}_1' = \mathbf{C}_1 + \left( \text{あ} \right)$$

となる。

- (1) アリルカチオンの規格化した LUMO  $\mathbf{C}_2$  を求めよ。
- (2) 図 1 の HOMO と next LUMO にならって，LUMO  $\mathbf{C}_2$  を図示せよ。
- (3) アリルカチオンの両末端を連結させて水素原子を二つ取り除いた環状  $\pi$  共役系シクロプロペニルカチオン  $\text{C}_3\text{H}_3^+$  のヒュッケル行列を記せ。
- (4) 問題文中のエチレンでの解法を参考にして， $\frac{\alpha - E}{\beta} = -x$  とおいてシクロプロペニルカチオンの分子軌道エネルギーをすべて求めよ。
- (5) アリルカチオンとシクロプロペニルカチオンの HOMO の軌道エネルギーを比較し，どちらがどれだけ安定であるか答えよ。
- (6) 式(ii)を用いてヘテロ置換体の HOMO のエネルギー  $E_1'$  を求めよ。
- (7) 式(iv)の第 2 項か第 3 項のいずれか一方は寄与しない。寄与しないのはどちらか，理由とともに答えよ。
- (8) 列ベクトル (あ) を求めよ。また，ヘテロ置換によって HOMO の分子軌道係数にどのような変化が生じたか説明せよ。
- (9) ヘテロ置換体の LUMO は，置換前と比べどのように変化するか。分子軌道の対称性の観点からの理由とともに述べよ。

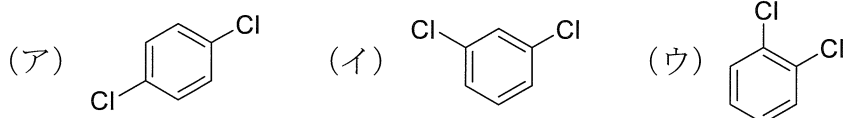
## 有機化学 (200点) (必須問題)

問1 以下の(1)～(5)の問いに答えよ。なお、(1)～(4)の解答は、例にならい不等号を用いて記号で答えよ。

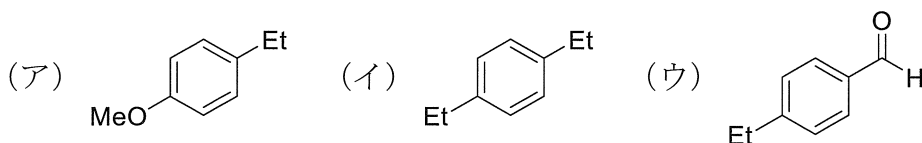
解答例

(ア) > (イ) > (ウ)

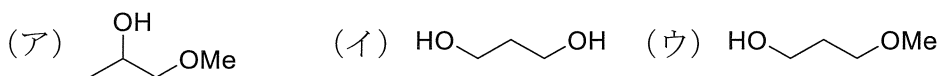
(1) 以下の化合物(ア)～(ウ)について、双極子モーメントの大きいものから順に並べよ。



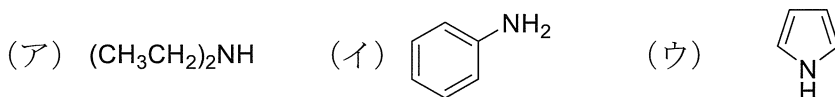
(2) 以下の化合物(ア)～(ウ)について、 $^1\text{H NMR}$ で、一重線として観測されるシグナルの化学シフトが大きいものから順に並べよ。



(3) 以下の化合物(ア)～(ウ)について、沸点が高いものから順に並べよ。

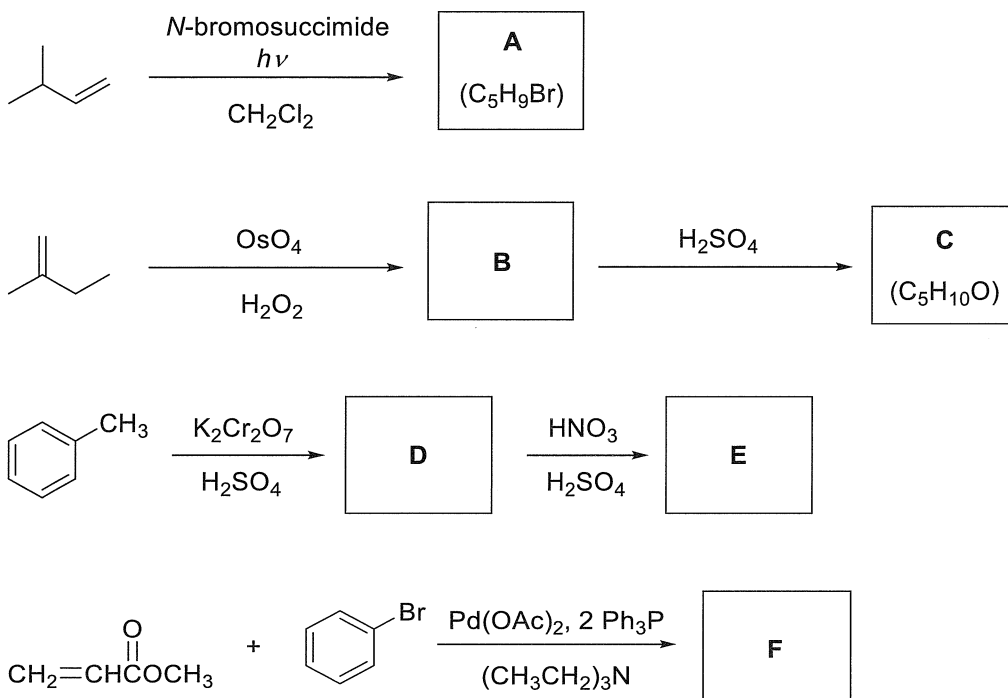


(4) 以下の化合物(ア)～(ウ)について、塩基性の高いものから順に並べよ。



(次頁へ続く)

(5) 以下に示した合成反応において、**A** ~ **F** にあてはまる最も適切な化合物の構造式を記せ。ただし、エナンチオマーは考慮しなくてよいが、**F** については立体化学がわかるように記せ。

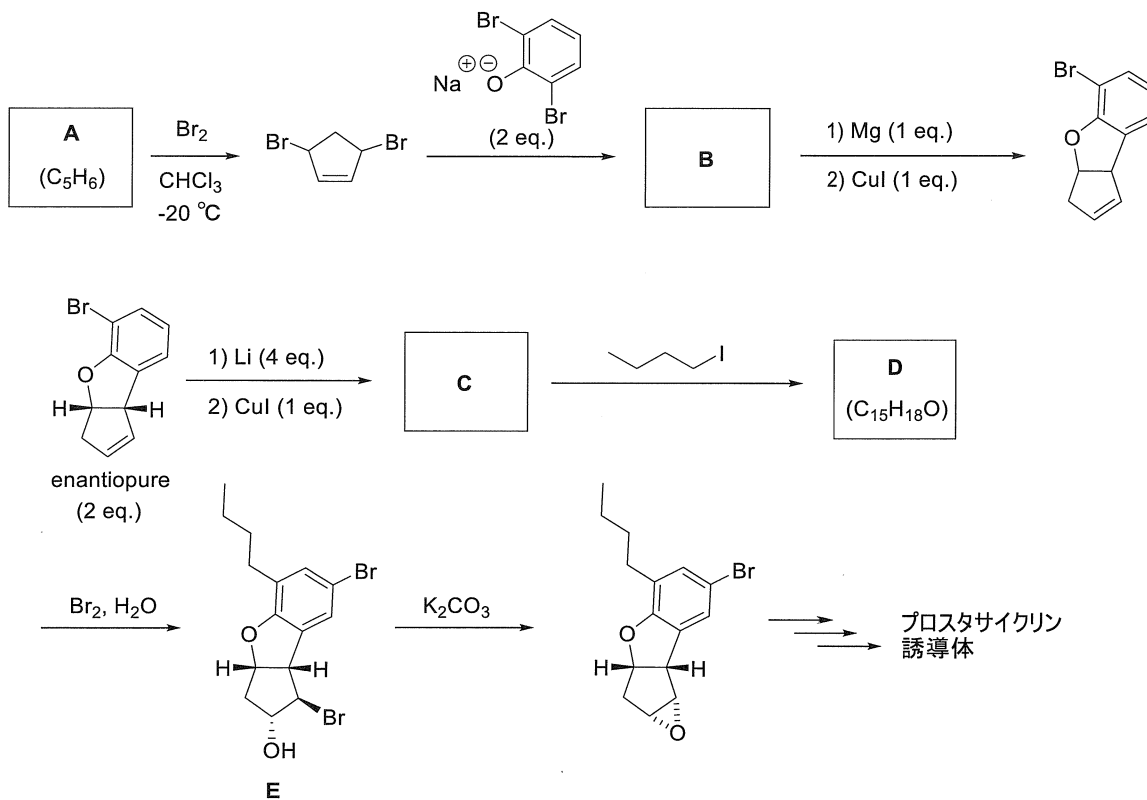


問2 次の文章を読み、**A** ~ **E** にあてはまる最も適切な化合物の構造式を記せ。ただし、化合物 **A** については立体化学がわかるように記せ。それ以外については、立体化学を考慮しなくてもよい。

分子式  $C_5H_8O$  で表される化合物 **A** は、*S* 体のアルデヒドである。化合物 **A** に  $Ph_3P^+-CH_2^-$  を作用させると、アキラルな化合物 **B** が得られた。分子式  $C_5H_8$  で表される鎖状化合物 **C** は、3-buten-2-one との Diels-Alder 反応により六員環化合物 **D** へと変換することができる。化合物 **C** に希硫酸水溶液を作用させると、アキラルなアルコール **E** が主生成物として得られた。化合物 **E** は、化合物 **A** に水素化ホウ素ナトリウムを作用させて得られるアルコールと同じ炭素骨格を持つ構造異性体であった。

(次頁へ続く)

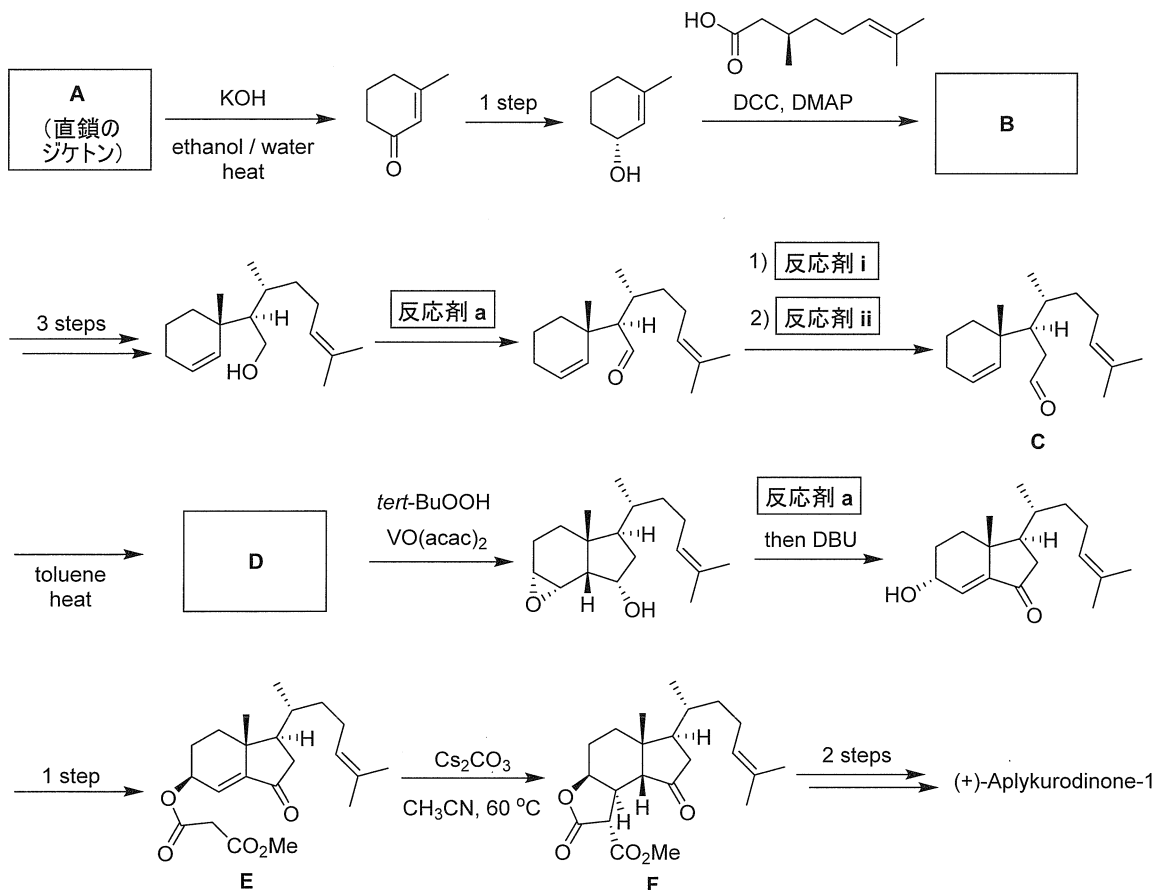
問3 プロスタサイクリン誘導体の合成について、以下の(1)～(3)の問いに答えよ。



- (1) **A** および **B** にあてはまる最も適切な化合物の構造式を記せ。ただし、立体化学については考慮しなくてよい。
- (2) **C** および **D** にあてはまる最も適切な化合物の構造式を、立体化学がわかるように記せ。
- (3) 化合物 **D** から化合物 **E** への変換反応では、臭素原子が芳香環と五員環にそれぞれ導入されている。
  - (a) 五員環が立体選択的に化学修飾される反応機構を、中間体の構造を明示し、電子の流れを表す曲がった矢印を用いて説明せよ。
  - (b) 芳香環が位置選択的に臭素化される理由を説明せよ。

(次頁へ続く)

問4 (+)-Aplykurodinone-1の全合成について、以下の(1)～(5)の問いに答えよ。



DCC: dicyclohexylcarbodiimide

DMAP: 4-dimethylaminopyridine

DBU: 1,8-diazabicyclo[5.4.0]undec-7-ene

(1) **A** および **B** にあてはまる最も適切な化合物の構造式を記せ。ただし、化合物 **B** については、立体化学がわかるように記せ。

(2) 反応剤 **a** として最も適切なものを以下の(ア)～(エ)から1つ選び、記号で答えよ。

(ア)  $\text{H}_2\text{CrO}_4$

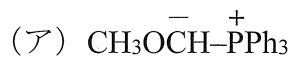
(イ) dimethyl sulfoxide

(ウ) Dess-Martin periodinane

(エ) formic acid

(次頁へ続く)

(3) 反応剤 **i** および **ii** として最も適切なものを以下の (ア) ~ (カ) から 1 つ 選び、記号で答えよ。ただし、同じ記号を選ぶことはできない。



(イ) formaldehyde

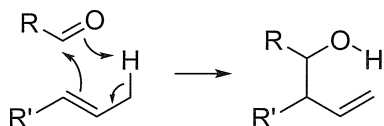
(ウ) piperidine

(エ) iodomethane

(オ) sodium borohydride

(カ) *p*-toluenesulfonic acid,  $\text{H}_2\text{O}$

(4) 化合物 **C** から化合物 **D** への変換反応は分子内 carbonyl-ene 反応である。carbonyl-ene 反応はペリ環状反応の一種であり、下式に示されるようにカルボニル化合物とアルケンが反応し、ホモアリルアルコールを与える。**D** にあてはまる最も適切な化合物の構造式を 立体化学がわかるように 記せ。

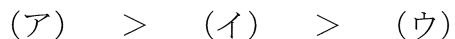


(5) 化合物 **E** から化合物 **F** へと炭素—炭素結合が形成される反応について、この反応に含まれる複数の段階のうち、五員環が形成される段階の反応機構を、電子の流れを表す曲がった矢印を用いて記せ。ただし、立体化学については考慮しなくてよい。

## 無機化学（150点）（必須問題）

問1 以下の（1）～（9）の問いに答えよ。なお、（1）～（7）の解答は、例にならい不等号を用いて記号で答えよ。

解答例



- (1) 以下のイオン（ア）～（ウ）を、イオン半径の大きいものから順に並べよ。  
（ア） $\text{Na}^+$                       （イ） $\text{Al}^{3+}$                       （ウ） $\text{Cl}^-$
- (2) 以下の元素（ア）～（ウ）を、第一イオン化エネルギーの高いものから順に並べよ。  
（ア）Na                      （イ）Br                      （ウ）Ar
- (3) 以下のブレンステッド酸（ア）～（ウ）を、強い酸から順に並べよ。  
（ア）HClO                      （イ）HBrO                      （ウ）HIO
- (4) 以下のルイス酸（ア）～（ウ）を、強い酸から順に並べよ。  
（ア） $\text{BF}_3$                       （イ） $\text{BCl}_3$                       （ウ） $\text{BBr}_3$
- (5) 以下のアクア酸（ア）～（ウ）を、強い酸から順に並べよ。  
（ア） $[\text{Ca}(\text{OH}_2)_6]^{2+}$                       （イ） $[\text{Fe}(\text{OH}_2)_6]^{2+}$                       （ウ） $[\text{Sr}(\text{OH}_2)_6]^{2+}$
- (6) 以下の化合物（ア）～（ウ）を、酸化力の強いものから順に並べよ。  
（ア） $\text{Cl}_2$                       （イ） $\text{Br}_2$                       （ウ） $\text{I}_2$
- (7) 以下の配位子（ア）～（ウ）が $\text{ML}_6$ 型の金属錯体を作るとき、配位子場分裂パラメータが大きくなるものから順に並べよ。  
（ア）CO                      （イ） $\text{NH}_3$                       （ウ） $\text{I}^-$
- (8) 以下の化合物（ア）～（ウ）の点群をそれぞれ答えよ。  
（ア） $\text{BF}_3$                       （イ） $\text{CO}_2$                       （ウ） $\text{PF}_6^-$
- (9) 以下の電子配置（ア）～（ウ）の項記号（スペクトル項）をそれぞれすべて答えよ。（例：電子配置 $1s^2$ の項記号： $^1S$ ）  
（ア） $1s^1$                       （イ） $2p^1$                       （ウ） $2p^2$

（次頁へ続く）

問2 F<sub>2</sub>分子について以下の(1)～(5)の問いに答えよ。

(1) F<sub>2</sub>分子の基底状態の電子配置を例(内殻を省略している)にならって示せ。

例: N<sub>2</sub>: (1σ<sub>g</sub>)<sup>2</sup>(1σ<sub>u</sub>)<sup>2</sup>(1π<sub>u</sub>)<sup>4</sup>(2σ<sub>g</sub>)<sup>2</sup>

(2) F<sub>2</sub><sup>-</sup>分子の結合次数を求めよ。なお、導出過程も記載すること。

(3) F<sub>2</sub><sup>-</sup>分子の解離エネルギーはF<sub>2</sub>分子と比べて、大きくなるか、もしくは小さくなるか、理由を付して答えよ。

(4) F<sub>2</sub>分子とF<sub>2</sub><sup>-</sup>分子の解離エネルギーをそれぞれD(F<sub>2</sub>), D(F<sub>2</sub><sup>-</sup>)とし、F<sub>2</sub>分子とF原子の電子親和力をそれぞれEA(F<sub>2</sub>), EA(F)とする。このときD(F<sub>2</sub><sup>-</sup>)を求めるボルン・ハーバーサイクルを図示せよ。

(5) D(F<sub>2</sub>), EA(F<sub>2</sub>), EA(F)の値がそれぞれ154.8 kJ mol<sup>-1</sup>, 297.1 kJ mol<sup>-1</sup>, 328.1 kJ mol<sup>-1</sup>のとき、D(F<sub>2</sub><sup>-</sup>)を求めよ。

(次頁へ続く)

問3 酸性溶液 (pH=0) における鉄のラチマー図を以下に示す。ただし、温度を 298 K、圧力  $p=100$  kPa、 $E^\ominus(\text{O}_2/\text{H}_2\text{O})=+1.23$  V、 $\ln 10 \times RT/F=0.0591$  とする。ここで、 $R$ 、 $T$ 、 $F$  はそれぞれ気体定数、絶対温度、ファラデー定数とする。また、ラチマー図中の矢印の上に記される数値は、各酸化還元系に対応する標準電位を V(ボルト) 単位で示したものである。以下の (1) ~ (3) の問いに答えよ。

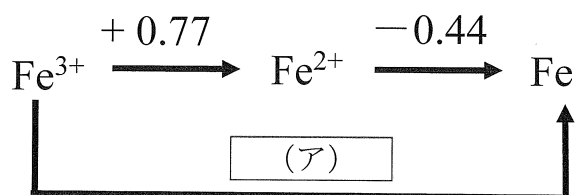


図1 鉄のラチマー図

- (1) 図1中の空欄  に当てはまる標準電位を答えよ。
- (2) 以下は鉄が錆びる反応についての文章である。 ~  に適切なイオン反応式もしくは数値を入れよ。

pH = 7 の水中に釘を浸漬させると錆びが生じる。この理由を考えよう。まず、鉄の溶解が  で示されるように生じる。これは酸化反応となる。次に空気中の酸素が釘の表面で還元される反応  を考える。これらの酸化還元反応により局部電池が釘の表面にできる。この電池の起電力は  となるため、熱力学的に進行することがわかる。鉄の溶解種は水酸化物もしくはオキシ水酸化物となり、錆びが生じる。

- (3) 空気中に放置し、十分に酸素が溶解した酸性溶液中に鉄片を浸漬させた。鉄片が酸性溶液中に残存していたとき、溶液中で安定な鉄の化学種はどれか、電位もしくはギブズエネルギーを用い、理由を付して答えよ。