

令和 7 年度 (前期日程)

入学者選抜学力検査問題

化 学

〔注意事項〕

1. 問題冊子が 1 冊，解答用冊子が 1 組配られていることを確認しなさい。
2. 監督者の指示があるまで，問題冊子および解答用冊子を開いてはいけません。
3. 問題冊子は 9 ページから，また，解答用冊子は，解答用紙 4 枚と下書用紙 4 枚からなっています。解答開始の合図があったら，すぐに両方の冊子を確認しなさい。
落丁・乱丁および印刷の不鮮明な箇所などがあれば，手をあげて監督者に知らせなさい。
4. 各解答用紙には，受験番号を記入する欄が **2 箇所** あります。各解答用紙にある 2 箇所の受験番号記入欄の両方に「**本学の受験番号**」を忘れずに記入しなさい。
(合計 8 箇所に受験番号を記入することになります。)
5. この問題冊子の 1 ページ目に「**解答に必要な注意事項**」が書いてあります。それをよく読んでから，解答しなさい。
6. **解答は，必ず別紙の解答用紙の指定された場所(問題番号と一致した場所)に記入しなさい。指定された場所以外への解答は採点対象外です。**
7. 解答用紙は，持ち帰ってはいけません。
8. 問題冊子と下書用紙は，持ち帰りなさい。

[解答に必要な注意事項]

1. SI 単位以外の単位の意味。

$$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10^3 \text{ cm}^3$$

2. 問題の計算に必要な場合、次の原子量を用いよ。

原子量：H = 1.0, C = 12, N = 14, O = 16

I

次の文を読んで、問1～問6に答えよ。

(配点率 25 %)

原子を構成する電子は、原子核を取り巻く電子殻とよばれる層に分かれて存在している。電子殻は、内側から K 殻, L 殻, M 殻, N 殻…と呼ばれ、それぞれの電子殻に入る電子の最大数は、それぞれ、2 個, 8 個, 18 個, 32 個…である。^①最も外側の電子殻に入っている電子は最外殻電子とよばれ、その電子の数は原子番号が増えても(ア)個を越えない。最外殻電子のうち、原子の性質について重要な役割をはたす最外殻電子のことを、とくに価電子と呼ぶことがある。^②

原子や分子のなかで、2 個ずつ対になった電子を電子対とよび、対になっていない状態の電子を(イ)とよぶ。原子どうしは、互いの(イ)を共有し合うことで結合をつくる。共有された電子対のことを共有電子対という。一方、原子間で共有されていない電子対は非共有電子対という。例えば、窒素分子には、原子間の結合をつくる共有電子対は(ウ)組あり、それぞれの原子の最外殻電子に該当する電子の数は、非共有電子対を含めてそれぞれ(エ)個となる。この数は、周期表の同じ第 2 周期に属する、安定な原子である(オ)の最外殻電子の数と同じである。

分子中の各原子の最外殻電子の様子を記述するには、電子式が用いられる。しかし、分子の実際の構造は、電子式のような平面的なものではない。比較的簡単な分子の立体的な構造は、分子がもつ共有電子対や非共有電子対の間に生じる電子的な反発を考えることで、おおまかに説明される。例えば、メタン分子は、共有電子対どうしがすべて均等に反発しあうと考えると、分子全体の構造が(カ)形になると推測できる。一方で、水分子は、すべての共有電子対や非共有電子対がお互いに反発しあうと考えることで、分子の構造は(キ)形になると予想することができる。さらに、これらの考え方をオキソニウムイオンに同様に当てはめると、その立体的な構造は(ク)形となることが予想できる。

共有結合をしている 2 つの原子の間に、共有電子対を引きつけようとする強さに差があると、^④その共有電子対は片方の原子にかたよる。原子が共有電子対を引きつける強さの尺度を表した値を電気陰性度という。化学者のポーリングが提唱した、いくつかの元素の電気陰性度を、表 1 に示す。^⑤原子間に共有電子対のかたよりのあるとき、この結合には極性があるという。二原子分子では、結合の極性が分子の極性に一致するが、多原子分子がもつ分子全体の極性は、分子の形によって異なる。極性が大きな分子は、極性分子からなる水に溶けやすいなどの性質をもつ。

表 1 各元素の電気陰性度の値

H	C	N	O	Na	Cl
2.2	2.6	3.0	3.4	0.9	3.2

問 1 文章中の空欄(ア)～(オ)に適切な数値または語句を書け。ただし、(オ)には元素名を書け。

問 2 下線部①について、電子殻の順番を内側から n 番目としたとき、 n 番目の電子殻に入るこ
とのできる電子の最大数を、自然数 n を用いた式で表せ。

問 3 下線部②に関連して、その原子がもつ価電子の役割によって現れる性質に関する記述を次の中からすべて選び、記号で答えよ。

- (あ) ナトリウム **Na** やマグネシウム **Mg** は陽イオンになりやすい。
- (い) フッ化水素 **HF** のフッ素 **F** の原子価は1価である。
- (う) 同位体のなかに放射性同位体と呼ばれるものがある。
- (え) 臭素 **Br** の単体 **Br₂** の沸点は、ヨウ素 **I** の単体 **I₂** の沸点より低い。
- (お) 単体の金属は電気を通しやすい性質(電気伝導性)をもつ。

問 4 下線部③に関連して、次の(i)～(iii)の分子やイオンについて、それぞれの電子式を、解答欄の記入例を参考にして書け。また、それぞれの分子のおよその形について、文章中の(カ)～(ク)に入る適切な語句を書け。

- (i) メタン分子 (ii) 水分子 (iii) オキシニウムイオン

問 5 下線部④に関連して、例えば、塩化水素分子には、原子間に共有電子対のかたよりがあり、塩素原子はわずかに負の電荷(δ^-)を帯び、水素原子はわずかに正の電荷(δ^+)を帯びる。その状態は図1のように記される。次の(i)～

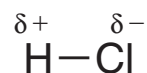


図1 電荷のかたよりの記入例

(iii)の分子の構造式を解答欄に書け。そして、各原子に電荷のかたよりがある場合は、すべてのかたよりについて、図1にならって、構造式に δ^+ または δ^- を書き添えてあらわせ。

- (i) 塩素分子 (ii) 二酸化炭素分子 (iii) アンモニア分子

問 6 下線部⑤のポーリングは、2つの原子間の結合について、それぞれの原子の電気陰性度の差が大きいほど、原子間の共有電子対のかたよりが大きい、という関係があると考え、「結合の特性を示す数値」を提案した。その関係は、図2に示すような曲線であらわされ、縦軸の「結合の特性を示す数値」が0.5のときを境にして、その数値が0に近いほど共有結合としての性質がより強く、1に近いほどイオン結合としての性質がより強くなるとした。表1と図2を参考にして、次の問(a)および(b)に答えよ。

(a) 次の結合のうち、共有結合としての性質が強いものをすべて選び、記号を○で囲め。

- (i) **H—N** (ii) **H—O** (iii) **C—O** (iv) **O—Na** (v) **Na—Cl**

(b) 一般にイオン結晶をつくる物質は水に溶けやすい。**NaOH**は、水に溶かすと Na^+ と OH^- となって電離するが、 NaO^- と H^+ には電離しない。電気陰性度の観点からこの理由を考察し、解答欄に書け。

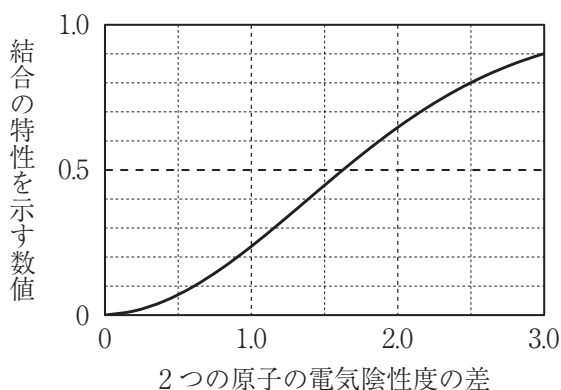


図2 電気陰性度の差と結合の特性の関係

Ⅱ

次の文を読んで、問1～問3に答えよ。

(配点率 25 %)

地球表層部には、非金属元素としてケイ素と酸素、典型金属元素としてアルミニウム、遷移金属元素として鉄が多く存在する。アルミニウムと鉄はどちらも金属元素であるが、その化学的性質^①における相違点は多い。例えば、アルミニウムの最外殻電子数は(ア)であり、陽イオンの価数も(ア)となるが、鉄の最外殻電子数は(イ)であるのに対して、鉄の陽イオンの価数は(イ)とならない場合がある。鉄イオンは、赤血球中の酸素運搬を担うタンパク質である(ウ)や酸化還元酵素などの生体物質の活性部位に存在し、機能発現の主要な役割を担っている。このことは、鉄イオン^②が複数の価数を取ることができることに基づいており、生体はこの性質を巧みに利用している。これに対して、アルミニウムイオンは生体にはほとんど利用されておらず、植物に対してはむしろ有毒である。しかし、土壌中のアルミニウムイオンはケイ素を含む安定な酸化物(アルミノケイ酸塩)として存在するため、中性付近の pH では遊離イオンとしてはほとんど存在しない。一方、粘土鉱物などのアルミノケイ酸塩は、工業的にもガラス・セメント・陶磁器・れんがなどの構造材料を生産する(エ)とよばれる産業において原材料となり、近年では触媒などの高度な工業材料として人工的に合成される非常に重要な物質群を構成する。

問1 (ア)～(エ)に入る適切な語句または数値を書け。

問2 下線部①に関して、次の問(a)～(d)に答えよ。必要ならば、表の数値を参照せよ。

表 1000 K における種々の化合物の生成エンタルピーと生成熱

化合物	生成エンタルピー[kJ/mol]	生成熱[kJ/mol]
CO(気)	-106	106
CO ₂ (気)	-400	400
Al ₂ O ₃ (固)	-1685	1685
Fe ₂ O ₃ (固)	-817	817

- (a) 金属アルミニウムの製造は、炭素電極を用いたアルミナの電気分解により行われる。この方法の名称、および、この方法に必要な炭素とアルミナ以外の物質の化学式を書け。
- (b) アルミニウムの粉末と酸化鉄(Ⅲ)との混合物に少量のマグネシウムリボンを挿入して点火すると、高温になり、単体の鉄を融解した状態で得ることができる。この方法の名称と化学反応式を書け。また、表の数値から、1000 K における反応エンタルピー ΔH_1 (または反応熱 Q_1) を計算して書け。なお、反応エンタルピーまたは反応熱のいずれを計算したか、解答欄の()内の該当する方を○で囲め。

- (c) 高温における金属酸化物 M_2O_3 (固) の一酸化炭素 CO (気) による還元で、金属 M (固) が生成する。この反応の化学反応式を書け。また、鉄酸化物とアルミニウム酸化物の金属への還元反応について、1000 K における反応エンタルピー ΔH_2 と ΔH_3 (または反応熱 Q_2 と Q_3) をそれぞれ計算して書け。ただし、アルミニウムの融解については無視して考えてよい。なお、反応エンタルピーまたは反応熱のいずれを計算したか、解答欄の () 内の該当する方を○で囲め。
- (d) 鉄は(c)の反応を用いて製造される。鉄とアルミニウムでは工業的な製造法が異なる理由を(c)の計算の結果に基づいて説明せよ。

問 3 下線部②に関して、次の文を読み、問(a)～(e)に答えよ。

薄い塩化鉄(Ⅱ)および塩化鉄(Ⅲ)の水溶液では、それぞれ水和した鉄イオン Fe^{2+} および Fe^{3+} を生じる。ヘキサシアニド鉄(Ⅱ)酸カリウムおよびヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウム水溶液では、鉄の錯イオンを生じる。(以下、それぞれの錯イオンを、 $Fe(Ⅱ)$ および $Fe(Ⅲ)$ と省略する。)薄い Fe^{2+} と $Fe(Ⅲ)$ の水溶液を混合すると、1:1 のモル比で反応して、特有の色を示すイオン X を生成する可逆反応(反応 1)が起こり、溶液は平衡状態になる。同様に、薄い Fe^{3+} と $Fe(Ⅱ)$ の水溶液を混合すると、1:1 のモル比で X を生成する可逆反応(反応 2)が起こり、溶液は平衡状態となって反応 1 の場合と同じ色を示す。反応 1 と反応 2 において、沈殿反応は起こらない。一方、各試薬のモル濃度を 100 倍として、 Fe^{2+} と $Fe(Ⅲ)$ および Fe^{3+} と $Fe(Ⅱ)$ の組み合わせに対して同じ混合操作を行うと、いずれの場合も速やかに X に類似した色を示す呈色反応が起こり、沈殿 Y を生じる。

- (a) 水溶液中のヘキサシアニド鉄(Ⅱ)酸カリウムの電離を表すイオン反応式を書け。ただし、錯イオンの化学式は省略しないこと。
- (b) 沈殿 Y の色を答えよ。
- (c) 反応 1 の平衡定数を K_1 、反応 2 の平衡定数を K_2 とする。反応 1 および反応 2 で生じる X の濃度 $[X]$ を求める式を書け。ただし、関係するイオンの濃度は、 $[Fe^{2+}]$ 、 $[Fe^{3+}]$ 、 $[Fe(Ⅱ)]$ 、 $[Fe(Ⅲ)]$ のなかから選べ。また、反応 1 については K_1 を、反応 2 については K_2 を用いよ。ただし、水溶液中の Cl^- および K^+ の濃度は、平衡定数 K_1 および K_2 に影響を与えないものとする。
- (d) イオン X は、反応 1 および反応 2 のどちらからも生成するため、最終的に水溶液は、 X 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 $Fe(Ⅱ)$ 、 $Fe(Ⅲ)$ が共存する平衡状態となる。このとき、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 $Fe(Ⅱ)$ 、 $Fe(Ⅲ)$ の間で起こる可逆反応を表す化学反応式を書け。なお、 Fe^{3+} を左辺に書き、錯イオンは省略記号を用いて書け。また、その平衡定数 K を、 K_1 と K_2 を用いて表せ。ただし、水溶液中の Cl^- および K^+ の濃度は、平衡定数 K_1 および K_2 に影響を与えないものとする。
- (e) 反応 2 において、 $[Fe^{3+}] = [Fe(Ⅱ)]$ の初濃度で水溶液を混合すると、 $[Fe^{2+}] > [Fe^{3+}]$ の関係を示す平衡状態となる。 K_1 と K_2 の大小関係を不等式で表せ。

Ⅲ

次の文を読んで、問1～問4に答えよ。

(配点率 25 %)

気体の体積、温度、圧力、物質量の間には気体の種類によらず共通の関係がある。この関係が完全に成立する気体を理想気体とよぶ。この関係は、理想気体の状態方程式であらわされる。

一方、実在気体では理想気体の状態方程式が厳密には成立しない。理想気体では分子そのものの体積が考慮されていないのに対し、実在気体では分子そのものの体積が存在し、さらに、分子どうしに分子間力がはたらくためである。理想気体の体積は絶対温度に比例して変化するが、実在気体は分子間力がはたらくため、ある温度において状態変化が生じる。体積が一定の容器中に密閉した気体を冷却していくと、容器内の圧力は最初、絶対温度に比例して低下する。実在気体では、さらに冷却を続けると、やがて飽和蒸気圧と同じ圧力に達し、気体の(ア)が始まる。さらに冷却を続けた場合、圧力は蒸気圧曲線に沿って低下する。

式(1)は、実在気体のふるまいが理想気体からどの程度ずれるのかの指標 Z である。

$$Z = \frac{PV}{nRT} \quad \cdots (1)$$

ここで、 P は圧力、 V は体積、 n は物質質量、 R は気体定数、 T は絶対温度である。一般に、実在気体では圧力が(イ)ときや温度が(ウ)ときに理想気体からのずれが大きくなる。 Z が1より小さい実在気体について、同じ圧力、同じ温度における1 mol あたりの体積を比較すると実在気体のほうが理想気体よりも(エ)。

ファンデルワールスは、気体の状態方程式に補正を加えたファンデルワールスの状態方程式(式(2))を考案した。

$$\left(P' + \frac{n^2}{V'^2} a \right) (V' - nb) = nRT \quad \cdots (2)$$

ここで、 P' は実測された実在気体の圧力であり、 V' は実在気体の体積を示す。 a および b はファンデルワールス定数と呼ばれ、気体の種類によって異なる値を示す。実在気体の圧力 P' は、分子間力の影響により理想気体よりも小さくなるため、気体濃度の二乗 $\frac{n^2}{V'^2}$ と定数 a の積によって補正される。また、実在気体では、分子自身の体積により、分子が自由に動ける体積が減少する。この体積の減少分を排除体積という。実在気体の体積 V' は、気体1 mol 当たりの排除体積に相当する定数 b と物質質量 n の積で補正される。

問1 文中の(ア)～(エ)に入る適切な語句を書け。ただし、(イ)および(ウ)には「高い」または「低い」を、(エ)には「大きい」または「小さい」を選んで書け。

問2 下線部①に関する以下の文を読んで問(a)～(c)に答えよ。

温度を変更可能な体積一定の密閉容器に水 0.100 mol を入れ、温度を 350 K に保ったところ、水は全て気化して水蒸気となった。次に容器内を冷却していくと、温度 342 K において液体の水がわずかに生じた。さらに冷却を続けたところ、温度は 333 K に達した。☒に

水の蒸気圧と温度の関係を示す。気体定数は $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$ であり、容器内に生じた液体の水の体積は無視できるほど小さい。また、容器内の気体については理想気体の状態方程式が成立するものとする。

(a) 理想気体の体積は、一定圧力で絶対温度に比例して変化する。この法則の名称を書け。

(b) 密閉容器の体積[L]を、有効数字2桁で求めよ。計算過程も示せ。

(c) 333 K において容器内に生じた液体の水の物質質量[mol]を、有効数字2桁で求めよ。計算過程も示せ。

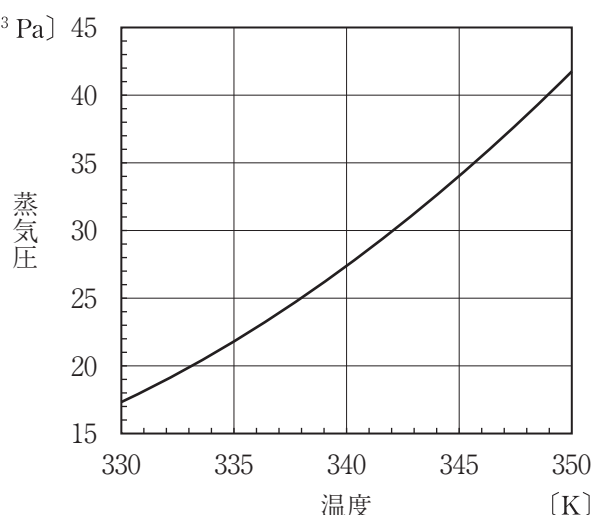


図 水の蒸気圧と温度の関係

問 3 下線部②に関して、350 K において二酸化炭素の圧力を 0 Pa 付近から増加させた場合、 Z の値はどのように変化するか。最も適したものを(あ)～(え)の中から選んで書け。

- (あ) Z の値は 1 から増加し続ける。
- (い) Z の値は 1 から減少するが、さらに圧力を加え続けると増加する。
- (う) Z の値は 1 から増加するが、さらに圧力を加え続けると減少する。
- (え) Z の値は 1 から増加するが、さらに圧力を加え続けると一定になる。

問 4 下線部③に関して、表に4種類の気体のファンデルワールス定数 a および b を示す。以下の問(a)および(b)に答えよ。

- (a) 一般に、気体分子の分子量が大きくなると、ファンデルワールス定数 b の値が大きくなる傾向がある。この理由を簡潔に書け。
- (b) 一般に、気体分子の分子量が大きくなると、ファンデルワールス定数 a の値が大きくなる傾向がある。しかし、窒素とアンモニアでは、アンモニアの方が大きな a の値が得られている。この理由を簡潔に書け。

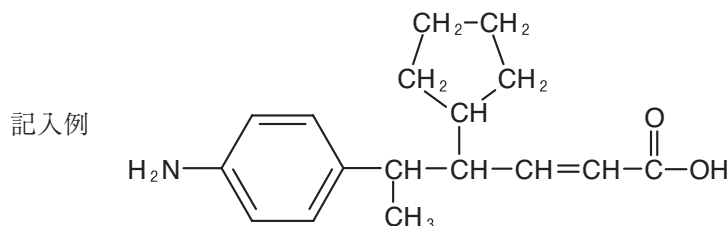
表 ファンデルワールス定数

気体	$a[\text{Pa} \cdot \text{L}^2 / \text{mol}^2]$	$b[\text{L} / \text{mol}]$
H_2	24800	0.0266
N_2	136000	0.0386
NH_3	424000	0.0373
CO_2	365000	0.0428

IV

次の文を読んで、問1～問4に答えよ。化合物の構造式は、記入例にならって書け。

(配点率 25 %)



有機化合物の特徴として、構成元素の種類は少ないにもかかわらず、化合物の種類は極めて多いことが挙げられる。これは、炭素原子どうしが強い共有結合をつくり、そのつながり方によって鎖状構造や環状構造、枝分かれ構造をとることや、炭素原子間に単結合だけでなく、二重結合①や三重結合がつくられることに起因している。また、酸素原子や窒素原子を含むさまざまな種類の官能基②があり、有機化合物の多様性をひろげている。一方、有機化合物の反応に目を向けると、③反応の起こりやすさは有機化合物の構造に大きく影響を受けることが知られている。④

問1 下線部①に関する次の文を読んで、文中の空欄(ア)および(イ)にあてはまる適切な語句を書け。また、化合物 A および B の構造式を書け。

分子式が同じであっても構造が異なる化合物は、互いに異性体であるという。異性体のうち立体異性体には、炭素間の二重結合が原因で生じる(ア)異性体と、不斉炭素原子が原因で生じる(イ)異性体がある。

化合物 A および B の分子式は、いずれも C_6H_{12} である。化合物 A は環をもたず、不斉炭素原子をもつ。一方、化合物 B は環をもち、不斉炭素原子をもたない。また、化合物 B はメチル基とエチル基を1個ずつもつ。

問2 下線部②に関する次の文を読んで、問(a)および(b)に答えよ。

二重結合をもつアルケンは、付加反応を起こしやすい。例えば、シクロヘキセン C_6H_{10} は触媒の存在下、常圧で水素の付加反応を起こし(反応条件Ⅰ)、シクロヘキサン C_6H_{12} が生成する。一方、ベンゼン C_6H_6 も不飽和結合を含むが、付加反応を起こしにくい。ベンゼンに対する水素の付加反応は、反応条件Ⅰでは起こらず、触媒の存在下、高圧にする必要がある(反応条件Ⅱ)。反応条件Ⅱで反応が起こると、ベンゼンに水素が付加し、シクロヘキサンが生成する。

(a) シクロヘキセン、ベンゼン、およびシクロヘキサンの混合物 161 g に対し、反応条件Ⅰで水素の付加反応を行ったところ、1.00 g の水素が消費された。続いて、得られた混合物に対し、反応条件Ⅱで水素の付加反応を行ったところ、シクロヘキサンのみが 168 g 得られた。初めに用いた混合物には、シクロヘキセン、ベンゼン、およびシクロヘキサンが、それぞれ何 g 含まれていたか、有効数字2桁で答えよ。計算過程も示せ。なお、各反応条件では十分な量の水素を使い、反応は完全に進行するものとする。

- (b) ベンゼンは置換反応を起こしやすい。鉄粉を触媒に用いてベンゼンと塩素を反応させたところ、水素原子が塩素原子に置換される反応が起こり、クロロベンゼン、化合物 **C**、**D**、および塩化水素が生成した。化合物 **C** と **D** の分子式はいずれも $\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$ である。化合物 **C** の水素原子 1 個をさらに塩素原子に置換すると 2 つの異性体が生じるのに対し、化合物 **D** の水素原子 1 個を塩素原子に置換した場合には化合物 **E** のみが生じる。化合物 **C**、**D**、**E** の構造式を書け。

問 3 下線部③に関する次の文を読んで、問(a)～(c)に答えよ。

ベンゼン環に結合したヒドロキシ基とアミノ基の特徴を調べるために、無水酢酸を用いるアセチル化の実験を行ったところ、フェノールからは酢酸フェニルが、アニリンからはアセトアニリドがそれぞれ得られた。次に、*p*-アミノフェノール($\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}$)のアセチル化を行ったところ、まずヒドロキシ基もしくはアミノ基の一方が無水酢酸と反応して化合物 **F**($\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2$)が生じ、その後、**F** のもう一方の官能基が反応してジアセチル化した化合物が生じることがわかった。化合物 **F** に塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えると、青紫色を呈した。

- (a) フェノールと無水酢酸から酢酸フェニルを得るアセチル化の化学反応式を、構造式を用いて書け。
- (b) 化合物 **F** の構造式を書け。
- (c) 上の *p*-アミノフェノールの実験の結果について、反応の速さの観点から官能基の特徴を説明せよ。

- 問 4 下線部④について、下の表に示した 4 種のアルコールが、次の(i)～(iii)の反応を起こすかどうかを実験する。表の(あ)～(し)について予想される実験結果を、解答欄に○もしくは×で書け。ただし、○は反応が観察されること、×は反応が観察されないことを意味する。
- (i) 硫酸酸性 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 水溶液を反応させると、色が変化する。
- (ii) Na を反応させると、気体が発生する。
- (iii) I_2 と NaOH 水溶液を反応させると、黄色沈殿が生じる。

表 4 種のアルコールの反応

アルコール		メタノール	エタノール	2-プロパノール	2-メチル-2-プロパノール
反応	(i)	(あ)	(い)	(う)	(え)
	(ii)	(お)	(か)	(き)	(く)
	(iii)	(け)	(こ)	(さ)	(し)

(以 上)