

2026年度

理 科

R B

【 化 学 】

3月12日(木)

【後期日程】

理 学 部 (生物科学科, 創造理学コース)

工 学 部 (電子物質科学科, 化学バイオ工学科,
数理システム工学科)

農 学 部

9 : 40 ~ 11 : 00

注 意 事 項

試験開始前

- 1 監督者の指示があるまで, 問題冊子, 解答用紙に手を触れてはいけません。
- 2 監督者の指示に従い, 出願時に選択した科目の問題冊子, 解答用紙であるかどうかを確かめ, 全部の解答用紙(7枚)に受験番号を記入しなさい。
- 3 出願時に選択した科目と解答した科目が異なる場合は採点されません。

試験開始後

- 4 この問題冊子は, 12ページあります。はじめに, 問題冊子, 解答用紙を確かめ, 枚数の不足や, 印刷の不鮮明なもの, ページの落丁・乱丁があった場合は, 手をあげて監督者に申し出なさい。
- 5 問題は, **1** ~ **4** の全てを解答しなさい。
- 6 解答はすべて解答用紙に記入しなさい。
- 7 問題は, 声を出して読むてはいけません。
- 8 各問ごとの配点は, 比率(%)で表示してあります。

試験終了後

- 9 問題冊子は, 必ず持ち帰りなさい。

問題訂正

科目 化学 (RB)

訂正箇所

問題 1

4 ページ 問 8 (2) 3 行目

(誤)

・・・無視できるものとする。所定の欄に・・・

(正)

・・・無視できるものとする。また、気体は理想気体として扱えるものとする。所定の欄に・・・

問題 3

7 ページ 本文 上から 1 行目

(誤)

15 族元素である窒素およびリンは最外殻電子を・・・

(正)

15 族元素である窒素およびリンの原子は最外殻電子を・・・

【注意】必要ならば、次の数値を用いること。

原子量：H 1.0, C 12.0, N 14.0, O 16.0, Cl 35.5, Zn 65.4

気体定数： $8.3 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})$

1 次の文章を読み、下の問いに答えよ。(配点 25 %)

原子は、陽子と中性子からなる原子核と、原子核のまわりを取り巻く電子からできている。原子^(a)を構成する電子は、電子殻とよばれる層に分かれて存在している。最も外側の電子殻に入っている電子を最外殻電子といい、最外殻電子のうち、原子がイオンになったり、互いに結びついたりするときに重要な役割を果たす電子を という。非金属元素の原子どうしが結びついて分子をつくるときは、それぞれの原子が を出してそれらを互いに共有し、共有結合を形成する。例えば、2個の水素原子から水素分子 H_2 ができるとき、水素原子はどちらも 原子と同じ電子配置になることで安定化する。

水素原子は、水素以外の非金属元素とも共有結合で結びつき、水素化合物をつくる。14族に属する炭素の水素化合物のうち、直鎖状のアルカンの沸点は、分子量が大きくなるほど高くなる^(b) (図1)。ただし、分子量が同じアルカンでは、その構造の違いによって沸点は異なる^(c)。一方、15~17族の水素化合物は、同程度の分子量をもつ14族の水素化合物よりも沸点が高い(図2)。例えば、 HBr の沸点は GeH_4 の沸点より高い。極性分子である HBr では、無極性分子である GeH_4 と異なり、分子の極性に基づく も分子間にはたらくことで、無極性分子に比べて分子間力が強くなるからである。また、アンモニア、水、フッ化水素の沸点は、分子量から予想される値よりも異常に高い値を示す。このことから、アンモニア、水、フッ化水素の分子間には特に強い引力がはたらいていると考えられる。これらの分子では、電気陰性度の大きい原子(N, O, F)が電子を強く引き寄せ負に帯電し、水素原子が正に帯電して極性の大きな分子となる。このように、 電子対をもつ電気陰性度の大きな原子どうしの中に、水素原子をはさんで形成される結合を水素結合という。塩素原子Clは、電気陰性度が大きく、 電子対ももっているが、 HCl の沸点はアンモニア、水、フッ化水素の沸点よりも低い。これには、Cl原子の大きさ(原子半径)が関係していると考えられている。

^(e) 水素の単体は無色・無臭で、すべての気体の中で最も軽い。単体の水素は、地球上では天然にほとんど存在せず、工業的には水の電気分解のほか、メタンのような炭化水素と水蒸気を反応させて製造される^(f)。実験室では、亜鉛や鉄などの金属に酸を加えて水素を発生させ、水上置換で捕集^(g)する。水素は、アンモニアや塩化水素の製造原料となるほか、近年では石油にかわるクリーンなエネルギー源としても注目されている。

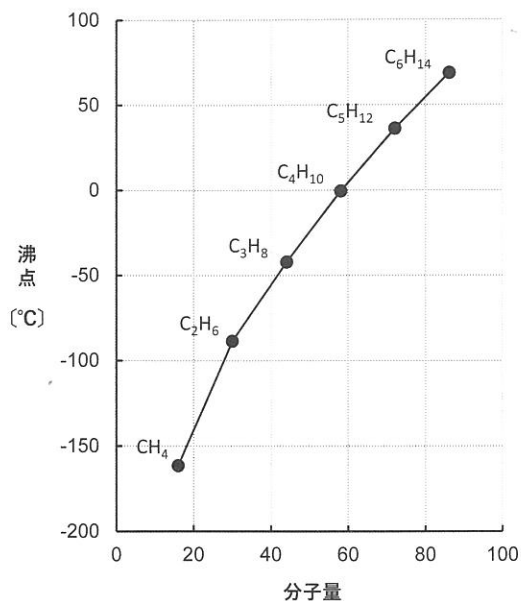


図1 直鎖状のアルカンの分子量と沸点の関係

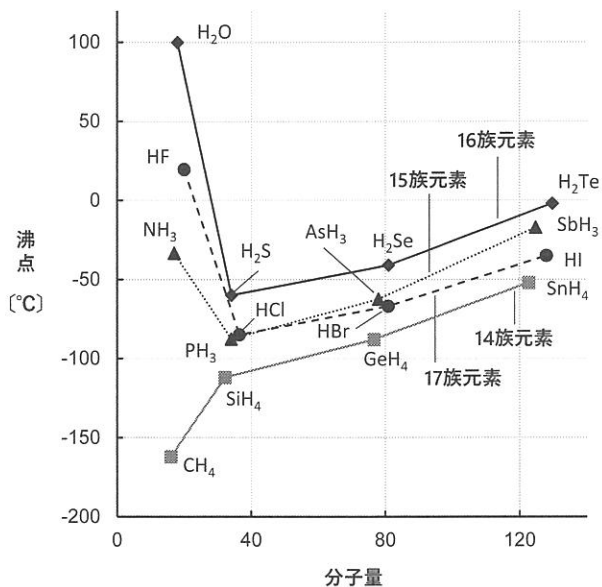


図2 水素化合物の分子量と沸点の関係

問1 空欄 ~ に入る最も適切な語を記せ。

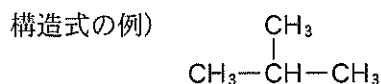
問2 下線部(a)に関して、陽子・中性子・電子の質量比として最も適切なものを表1の(あ)~(か)から選び記号で答えよ。

表1 陽子・中性子・電子の質量比

	陽子	中性子	電子
(あ)	1	0.5	$\frac{1}{184}$
(い)	1	0.5	$\frac{1}{1840}$
(う)	1	1.0	$\frac{1}{184}$
(え)	1	1.0	$\frac{1}{1840}$
(お)	1	2.0	$\frac{1}{184}$
(か)	1	2.0	$\frac{1}{1840}$

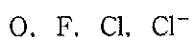
問3 下線部(b)に関して、分子量が大きくなるほど強くはたらく分子間力の名称を答えよ。

問 4 下線部(c)に関して、分子式 C_5H_{12} で表せるアルカンのすべての異性体の構造式を、沸点の高い順に左から記せ。また、その順序となる理由を、分子どうしの接触面積の大きさに着目して、簡潔に説明せよ。



問 5 下線部(d)に関して、水素結合一つ分の結合エネルギーは、 $F-H\cdots F$ のほうが $O-H\cdots O$ よりも大きいにも関わらず、沸点は水のほうがフッ化水素よりも高い。この理由を考察し、簡潔に説明せよ。

問 6 下線部(e)に関して、原子およびイオンが球形であるとみなしたとき、次の原子およびイオンを半径が大きい順に左から記せ。



問 7 下線部(f)に関して、メタンと水蒸気から H_2 を製造する反応は次の化学反応式で表せる。下の(1)および(2)に答えよ。



(1) この反応の反応エンタルピー [kJ] を、表 2 に示す結合エネルギーの値から推定せよ。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。

表 2 結合エネルギー [kJ/mol]

結 合	結合エネルギー
H—H	436
H—C	416
$C\equiv O$ (一酸化炭素)	1071
O—H	463

(2) 設問(1)の結果にもとづいて、この反応が発熱反応なのか吸熱反応なのかを答えよ。

問 8 下線部(8)に関して、質量パーセント濃度 15.0 % の希塩酸 14.6 g に亜鉛を加えたところ、亜鉛は完全に溶解して水素が発生した。次の(1)~(3)に答えよ。

- (1) この反応の化学反応式を記せ。
- (2) 発生した水素を水上置換で捕集したところ、 1.038×10^5 Pa、 27°C で、その体積は 498 mL であった。このとき得られた水素の物質質量[mol]を求めよ。ただし、 27°C での水蒸気圧は 3.80×10^3 Pa とし、発生した水素の水への溶解は無視できるものとする。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。
- (3) この反応の後に、計算上、追加で溶かすことのできる亜鉛の最大質量[g]を求めよ。ただし、反応に用いた希塩酸および亜鉛は、設問(1)の反応以外に使用されないものとする。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。

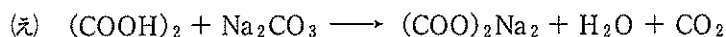
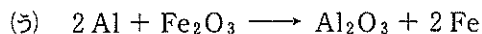
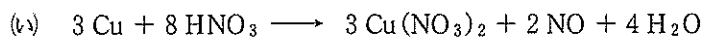
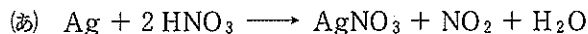
2 次の文章を読み、下の問いに答えよ。(配点 25 %)

酸化剤は相手の物質を酸化し、自身は還元される物質である。この際、酸化剤は相手の物質から電子を受け取り、自身を構成する原子の酸化数が減少する。一般に、還元されやすい物質は酸化剤となり、酸化されやすい物質は還元剤となる。しかし、^(a)硫黄の酸化物である [ア] や過酸化水素は反応する相手によって酸化剤にも還元剤にもなる。[ア] は無色、刺激臭をもつ有毒な気体であり、黄鉄鉱や黄銅鉱を燃焼させると発生する。[ア] を硫化水素のような強い [イ] と反応させると、硫黄の単体が遊離する。^(b)過酸化水素は無色の液体であり、その 3 % 水溶液は殺菌消毒剤としても用いられる。^(c)過酸化水素が酸化剤として働く際は、酸性水溶液中と中性・塩基性水溶液中では、電子を含むイオン反応式が異なる。また、^(d)硫酸酸性の過マンガン酸カリウム KMnO_4 と反応する際は、過酸化水素が還元剤として働き酸素が生成する。過酸化水素との反応で過マンガン酸イオン MnO_4^- の赤紫色が消えてほぼ無色になる。濃度未知の過酸化水素水に対し、濃度既知の過マンガン酸カリウム水溶液を滴下することで、色の変化を指標として過酸化水素水の濃度を決定することができる。

過酸化水素と [ア] を反応させると硫酸が生成する。濃硫酸は吸湿性が高く、中性・酸性の気体の乾燥剤として用いられる。また、濃硫酸は有機物から水素原子と酸素原子を水分子として脱離させる [ウ] 作用が強く、スクロースに濃硫酸を加えると炭化する。希硫酸は強酸性で、水素よりも [エ] 傾向の大きい金属の多くと反応し水素を発生する。ただし、鉛は不溶性の塩である [オ] の被膜を形成するため、希硫酸には溶けにくい。

問 1 文章中の空欄 [ア] ~ [オ] に最も適切な語を記せ。ただし、空欄 [ア] および [オ] には物質名を記せ。また、空欄 [イ] には {酸化剤・還元剤} のどちらかを選んで記せ。

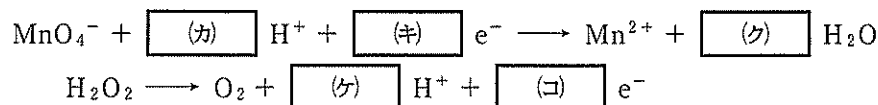
問 2 下線部(a)に関して、次の化学反応式(あ)~(え)において還元される原子を元素記号で記せ。また、その原子の酸化数の変化を記せ。反応中に還元される原子が存在しない場合は、還元される原子の記入欄に「なし」と記入し、酸化数の変化の記入欄は空欄とせよ。



問 3 下線部(b)に関して、この反応の化学反応式を記せ。

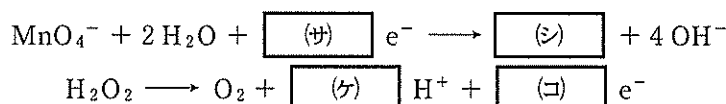
問 4 下線部(c)に関して、酸性水溶液中および中性・塩基性水溶液中で、過酸化水素が酸化剤として働く際の電子を含むイオン反応式をそれぞれ記せ。

問 5 下線部(d)に関して、硫酸酸性水溶液中で過マンガン酸カリウムが酸化剤として、過酸化水素が還元剤として働く際の電子を含むイオン反応式は次のように表される。下の(1)~(3)に答えよ。



- (1) 空欄 $\boxed{\text{(カ)}}$ ~ $\boxed{\text{(コ)}}$ に適切な係数を入れて、電子を含むイオン反応式を完成させよ。
- (2) 硫酸酸性水溶液中での、過マンガン酸カリウムと過酸化水素の酸化還元反応の化学反応式を記せ。
- (3) 濃度未知の過酸化水素水溶液を 10.0 mL はかり取り、硫酸酸性のもとで 0.020 mol/L の過マンガン酸カリウム水溶液を用いて滴定したところ、22 mL を要した。このとき、過酸化水素水溶液の濃度 [mol/L] を求めよ。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。

問 6 過マンガン酸カリウムを用いた酸化還元滴定は、下線部(d)のように、通常は硫酸酸性条件下で行う。仮に、中性・塩基性水溶液中で滴定を行うと、過マンガン酸イオンのマンガン原子は酸化数 + 4 までしか還元されず、硫酸酸性水溶液中とは異なる酸化還元反応が起こる。中性・塩基性水溶液中で過マンガン酸カリウムが酸化剤として、過酸化水素が還元剤として働く際の電子を含むイオン反応式は次のように表される。下の(1)~(3)に答えよ。



- (1) 空欄 $\boxed{\text{(サ)}}$ に適切な係数、空欄 $\boxed{\text{(シ)}}$ に適切な化学式を入れて、電子を含むイオン反応式を完成させよ。ただし、空欄 $\boxed{\text{(ケ)}}$ と $\boxed{\text{(コ)}}$ に入る係数は問 5 の設問 (1) と同じものである。
- (2) 中性・塩基性水溶液中での、過マンガン酸カリウムと過酸化水素の酸化還元反応の化学反応式を記せ。
- (3) 中性・塩基性水溶液中で過マンガン酸カリウムを用いて過酸化水素の滴定を行ったところ、滴下した過マンガン酸カリウムの量と、設問(2)の化学反応式から推定されるよりも多くの酸素が発生した。過剰な酸素を発生させた反応の化学反応式を示し、この反応が起こった理由を簡潔に説明せよ。

3 次の文章を読み、下の問いに答えよ。(配点 25 %)

15 族元素である窒素およびリンは最外殻電子を 個もつ。これらの元素は動植物のタンパク質や核酸などの構成元素で、生命活動に欠かせない重要な元素である。

リンの同素体には、猛毒で発火点の低い黄リン(白リン)や毒性の低い赤リンなどが存在する。赤リンはマッチ箱の側薬などに利用されている。リンの酸化物である十酸化四リンは吸湿性が強く、乾燥剤として用いられる。十酸化四リンを水に溶かして加熱すると、リン酸が得られる。リン酸の塩には、脊椎動物の骨や歯の成分であるリン酸カルシウムや、リン酸肥料に含まれるリン酸二水素カルシウムなどがある。

アンモニアは 法によって窒素と水素から工業的に製造され、窒素肥料、硝酸、合成繊維などの原料に利用されている。アンモニアは水によく溶け、弱い塩基性を示す。アンモニア水は水溶液中の金属イオンとさまざまな反応を起こす。気体の塩化水素と気体のアンモニアが反応すると、塩化アンモニウムの白煙が生じる。アンモニアから製造される硝酸は染料、医薬品、火薬などの製造に使用される。 法は硝酸の工業的な製造法であり、次の(i)~(iii)の基本工程からなる。

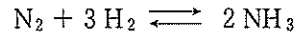
- (i) アンモニアと空気の混合ガスを 800 °C で白金網に通じ、一酸化窒素を得る。
- (ii) 一酸化窒素を冷却後、酸素と反応させて二酸化窒素を得る。
- (iii) 二酸化窒素を温水と反応させ、硝酸を得る。

問 1 本文中の空欄 ~ に入る最も適切な語句または数を答えよ。

問 2 下線部(a)に関して、黄リンの保存方法として通常用いられている方法を記せ。

問 3 下線部(b)に関して、この反応を化学反応式で記せ。ただし、水との反応は完全に進行したものとする。

問 4 下線部(c)に関して、窒素と水素からアンモニアが生成する反応は次の化学反応式で表される。下の(1)~(3)に答えよ。



- (1) 容積を変化させることができる温度一定の密閉容器内に窒素 1 mol と水素 3 mol を封入し、十分長い時間保持したところ上の反応が平衡状態に達した。この状態からこの混合気体中のアンモニアのモル分率をさらに増やすためには、この容器の容積を小さくする、あるいは大きくする、のいずれの操作を行えばよいか。そう考えた理由とともに簡潔に記せ。ただし、ルシャトリエの原理という言葉を使って記述すること。
- (2) 容積一定の密閉容器内に窒素 1 mol と水素 3 mol を封入し、ある温度で十分長い時間保持したところ上の反応が平衡状態に達した。この混合気体の温度を下げたところ、アンモニアのモル分率が増えた。この事実から、窒素と水素からアンモニアが生成する反応は発熱反応なのか吸熱反応なのかを答えよ。
- (3) アンモニアの工業的生産法では、四酸化三鉄 Fe_3O_4 を主成分とする触媒が利用される。圧力一定の容器内に窒素と水素を封入し、触媒を用いずに一定温度 500°C で保持したところ、アンモニアのモル分率は時間とともに次の図の破線のように変化した。触媒を用いて同様の実験を行うと、どのようなグラフが得られると考えられるか。次の図中の①~⑤の実線の中から最も適切なものを選び記号で答えよ。ただし、触媒の有無以外の条件はすべて同一とし、触媒の体積は無視できるものとする。

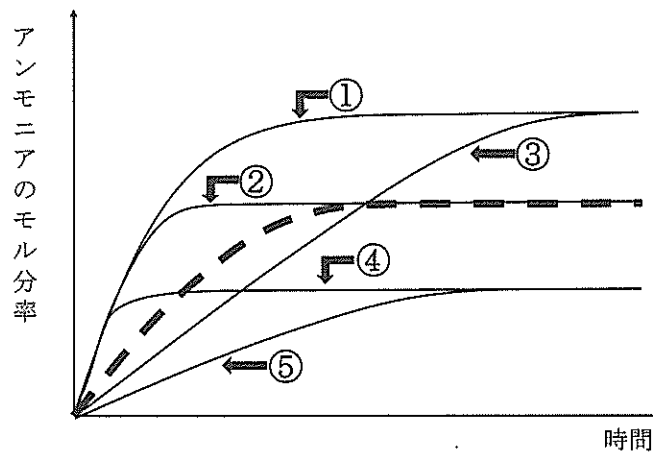


図 圧力一定の容器内で窒素と水素から生成するアンモニアのモル分率の時間変化

問 5 下線部(d)に関して、次の(1)および(2)に答えよ。

- (1) 水中でのアンモニアの電離平衡を表す式を化学反応式で記せ。
- (2) 0.100 mol/L のアンモニア水の pH を求めよ。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 3 桁で答えよ。ただし、水のイオン積は $1.00 \times 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ とし、この濃度でのアンモニアの電離度は 0.012 とする。必要ならば $\log_{10} 2 = 0.30$, $\log_{10} 3 = 0.48$, $\log_{10} 5 = 0.70$ を用いよ。

問 6 下線部(e)に関して、次の(1)および(2)に答えよ。

- (1) 亜鉛イオンを含む水溶液に少量のアンモニア水を加えると白色ゲル状の沈殿が生じた。生じた沈殿の化学式を記せ。
- (2) 設問(1)で生じた沈殿にアンモニア水を過剰に加えると、沈殿がイオンとなって溶けた。このイオンの化学式を記せ。

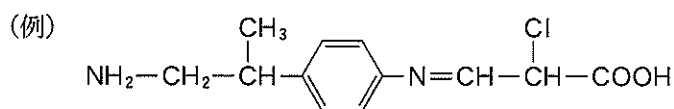
問 7 下線部(f)に関して、ある量の不純物を含む塩化アンモニウムがある。この混合物 5.00 g をとって、過剰な量の水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱した。この操作により生じたアンモニアを 1.000 mol/L の塩酸 100.0 mL 中にすべて吸収させた。次に、この溶液を 1.000 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液で滴定したところ、20.0 mL で中和点に達した。次の(1)および(2)に答えよ。

- (1) 塩化アンモニウムに水酸化ナトリウム水溶液を加えてアンモニアを発生させたときの化学反応式を記せ。
- (2) この実験に用いた混合物に質量パーセントで何%の不純物が含まれていたか。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、この操作において塩化アンモニウムは完全に反応し、含まれている不純物は反応しないものとする。

問 8 下線部(g)に関して、次の(1)および(2)に答えよ。

- (1) (i)~(iii)の反応をそれぞれ化学反応式で記せ。
- (2) (i)~(iii)の反応全体をまとめると、1 mol のアンモニアから 1 mol の硝酸が生成することが分かる。質量パーセント濃度 63 % の濃硝酸を 100 kg 合成するためには少なくとも標準状態(0 °C, $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$)で何 L のアンモニアが必要か。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、標準状態で気体 1 mol の占める体積を 22.4 L とする。

- 4 次の文章を読み、下の問いに答えよ。構造式は次の例にならって記せ。なお、立体異性体を区別して記す必要はない。(配点 25 %)



フェノールはベンゼンの水素の一つがヒドロキシ基で置換された化合物である。現在、フェノールの工業的な合成には、^(a) [ア] 法が一般的に利用されている。すなわち、石油原料から容易に供給できるベンゼンとプロペンから [ア] を合成し、これを酸化し、希硫酸などを用い分解することでフェノールを得ることができる。副生成物として得られる [イ] は有機溶剤としても有用であるため、優れた合成法として現在も広く使われている。

フェノール類は弱酸としての性質を示す。例えば、フェノールは [ウ] によって中和され、ナトリウムフェノキシドと水のみを与える。フェノールやクレゾールは ^(c) [エ] 水溶液を加えると青や紫など特有の呈色反応を示す。一方、クレゾールの構造異性体であり、ベンゼン環を有するアルコール化合物である [オ] は、[エ] 水溶液を加えても呈色しない。

フェノールはベンゼンよりも置換反応が起こりやすい。フェノールのベンゼン環の水素原子がハロゲン原子に置換される反応は触媒無しでも進行する。例えば、フェノールと臭素は触媒無しで十分に反応し、[カ] が得られる。一方、ベンゼンの水素原子がハロゲン原子に置換される反応には触媒が必要である。すなわち、ベンゼンと塩素分子は少量の [キ] とともに反応させることで水素原子が塩素原子に置換される反応が効率よく進行する。このとき、[キ] は塩素と反応して [ク] を生成し、これが触媒として働く。また、ベンゼンと混酸を反応させると、ベンゼンの水素が一つ [ク] 基に置換した生成物が得られる。一方、^(d) ベンゼンでは ^(e) なくフェノールに対して同じ混酸を反応させるとベンゼン環の複数の水素原子が [ク] 基に置換されたピクリン酸 が得られる。

フェノールを原料として作られる高分子化合物の一つに フェノール樹脂 がある。フェノールと ^(f) [ケ] が付加重合するとノボラックまたはレゾールという中間生成物が得られ、これを加圧・加熱することでフェノール樹脂が得られる。これは熱耐久性に優れるためフライパンの取手などに使われている。

問 1 空欄 [ア] ~ [ケ] に入る最も適切な語または物質名を記せ。

問 2 下線部(a)に関して次の(1)および(2)に答えよ。

- (1) 白金触媒を用いてベンゼンに高圧の水素を十分に反応させ得られる化合物の名称を記せ。
- (2) ベンゼンと塩素の混合物に紫外線を照射し十分に反応させ得られる化合物の構造式を記せ。

問 3 下線部(b)に関して、この合成法が確立される以前に用いられていたフェノールの合成法を下図に示す。この合成法に関して次の(1)および(2)に答えよ。

- (1) 化合物 A~C の構造式を記せ。なお、空欄 に入る語は問 1 と同じものである。
- (2) 化合物 B からナトリウムフェノキシドへの反応のように、水酸化ナトリウムのような固体の強塩基と融解状態で反応させる操作の名称を記せ。

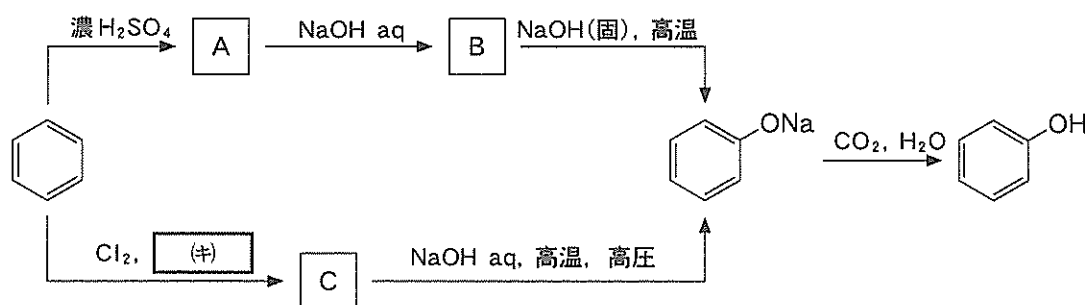


図 フェノールの合成法の例

問 4 下線部(c)に関して、次の(1)~(3)に答えよ。

- (1) ナトリウムフェノキシドから、サリチル酸を合成するためには、2段階の実験操作が必要である。次の(あ)~(か)から、第1段階目と第2段階目の操作を選び、所定の解答欄に記号で記せ。

(あ) 水酸化ナトリウム水溶液を加える	(い) 極低温で二酸化炭素とともに攪拌する
(う) 希硫酸を加える	(え) 高温・高圧下で二酸化炭素とともに攪拌する
(お) 金属ナトリウムを加え攪拌する	(か) 常温・常圧下で二酸化炭素とともに攪拌する
- (2) 酸を触媒としたサリチル酸と無水酢酸との反応式を記せ。
- (3) ナトリウムフェノキシドと化合物 D を反応させると橙赤色の *p*-ヒドロキシアゾベンゼン (*p*-フェニルアゾフェノールともいう) と塩化ナトリウムが生成した。化合物 D の名称を記せ。

問 5 下線部(d)に関して、混酸は二つの酸の混合物である。原料となる二つの酸の名称を記せ。

問 6 下線部(e)に関して、ある量のフェノールが完全に反応しピクリン酸が得られたとき、
16.2 g の水が生じた。反応したフェノールの質量(g)を求めよ。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。

問 7 下線部(f)に関して、フェノール樹脂と同様、熱硬化性樹脂に分類される樹脂を次の(き)~(し)から三つ選び記号で記せ。

- | | | |
|------------|------------|----------------------|
| (き) メラミン樹脂 | (く) ポリエチレン | (け) フッ素樹脂 (PTFE) |
| (こ) 尿素樹脂 | (さ) アルキド樹脂 | (し) スチロール樹脂 (ポリスチレン) |