

'19

前期日程

化 学

(理 工 学 部)

注 意 事 項

問題(1)~(5)の全てに解答してください。

1. 試験開始の合図があるまで、問題冊子を開いてはいけません。
2. 問題冊子は1冊(25頁)、解答用紙は5枚、下書用紙は1枚です。落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所等があった場合には申し出てください。
3. 氏名と受験番号は解答用紙の所定の欄に記入してください。
4. 解答は指定の解答用紙に記入してください。
5. 解答用紙は持ち帰ってはいけません。
6. 問題冊子と下書用紙は持ち帰ってください。

問題を解くにあたって，必要ならば次の値を用いよ。

原子量	C = 12.0	Ca = 40.1	Cl = 35.5	Cu = 63.5
	H = 1.0	I = 127	K = 39.1	N = 14.0
	Na = 23.0	O = 16.0	Pb = 207	S = 32.1

理想気体のモル体積 22.4 L/mol (0 °C, 1.01×10^5 Pa)

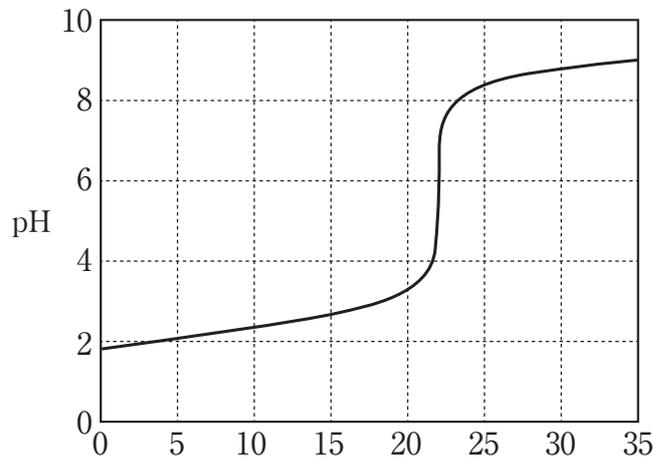
気体定数 8.31×10^3 Pa·L/(K·mol)

アボガドロ定数 6.02×10^{23} /mol

1

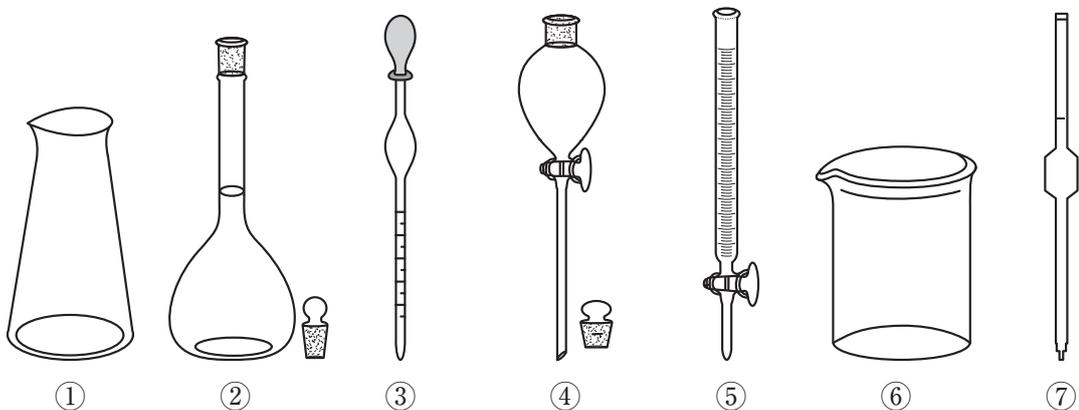
(1) 次の文章を読んで、問1～問6の答を解答欄に記入せよ。

下の図は、ある2価の酸の水溶液を1価の塩基の水溶液で中和滴定したときに得られた滴定曲線である。この滴定では次の操作を行った。まず、酸の水溶液 10.0 mL を ではかりとり、 に入れて純水で正確に10倍に薄めた。この水溶液 10.0 mL を別の ではかりとり、 に入れた。これに から 0.0100 mol/L の塩基の水溶液を滴下すると、22.0 mL 加えたところで中和点に達したことが確認された。



塩基の水溶液の滴下量[mL]

問1 空欄 ～ に当てはまる最も適当な器具を次の①～⑦から選び、それぞれの番号とその名称を答えよ。



問 2 ~ の器具のうち，この滴定において，純水で洗浄しそのまま使用してよい器具をすべて選び，その記号を記せ。

問 3 ①～⑦の器具のうち，加熱乾燥してはいけない器具を 3 つ選び，その番号を記せ。

問 4 この滴定における酸と塩基の組み合わせとして最も適当なものを次の①～④から 1 つ選び，その番号を記せ。

① 弱酸と弱塩基

② 強酸と弱塩基

③ 強酸と強塩基

④ 弱酸と強塩基

問 5 指示薬としてメチルオレンジを使用した場合，この滴定において水溶液の色は何色から何色に変化するかを記せ。

問 6 この滴定において，純水で希釈する前の酸の水溶液の濃度は何 mol/L か。有効数字 3 桁で答えよ。

(2) 次の文章を読んで、問1～問6の答を解答欄に記入せよ。

ステアリン酸分子 $C_{18}H_{36}O_2$ は親水性の官能基 と疎水性の炭化水素基からなる。これをベンゼンのような揮発しやすい溶媒に溶かし、清浄な水面に滴下する。溶媒が揮発すると、ステアリン酸は を水側、炭化水素基を空気側に向けて、一層にすき間なく並び、単分子膜を形成する。

質量 W [g] のステアリン酸をベンゼンに溶解し、全体の体積を V_1 [mL] にした。この溶液から体積 V_2 [mL] を清浄な水面に滴下したところ、ステアリン酸の単分子膜が形成した。単分子膜を形成しているステアリン酸の質量は g と表され、ステアリン酸のモル質量を M [g/mol] とすると、その物質量は mol と表される。形成した単分子膜の面積を S_1 [cm²] とし、ステアリン酸1分子が水面上で占有する面積を S_2 [cm²] とすると、ステアリン酸分子の数は と表される。ここで、アボガドロ定数を N_A とすると、単分子膜に含まれる分子数について、

$$N_A \times \text{イ} = \text{ウ}$$

が成り立つので、アボガドロ定数 N_A は次のように求めることができる。

$$N_A = \text{エ}$$

また、ステアリン酸の単分子膜の密度を d [g/cm³] とすると、ステアリン酸が形成する単分子膜の厚みは cm と表される。

問1 空欄 に当てはまる官能基の名称を記せ。

問2 空欄 に当てはまる最も適切な式を W , V_1 , V_2 を用いて記せ。

問 3 空欄 に当てはまる最も適切な式を W, V_1, V_2, M を用いて
記せ。

問 4 空欄 に当てはまる最も適切な式を S_1, S_2 を用いて記せ。

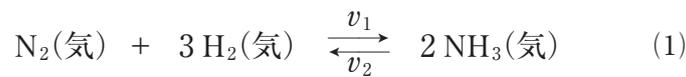
問 5 空欄 に当てはまる最も適切な式を W, V_1, V_2, M, S_1, S_2
を用いて記せ。

問 6 空欄 に当てはまる最も適切な式を W, V_1, V_2, S_1, d を用
いて記せ。

2

(1) 次の文章を読んで、問1～問8の答を解答欄に記入せよ。

19世紀～20世紀はじめにかけての人口増加に伴う食糧危機を回避するためには、空気中の窒素を窒素化合物に変換し、肥料として使用することが必須であった。ハーバーらは、触媒を用いて、a 水素と窒素から直接アンモニアを合成することに成功した。この反応は、次の可逆反応である。



ここで、 v_1 はアンモニアの生成速度、 v_2 はアンモニアの分解速度をあらわす。

問1 下線部aの反応について、その熱化学方程式を記せ。ただし、気体のアンモニアの生成熱は46 kJ/molとする。

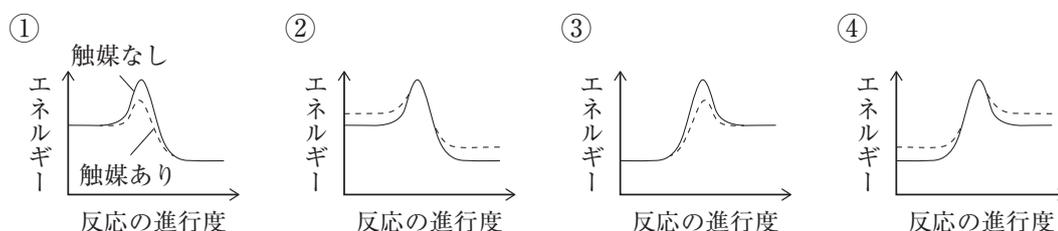
問2 (1)式の反応で平衡を右側に移動させるにはどうしたらよいか。最も適切なものを次の①～④から1つ選び、その番号を記せ。

- ① 混合気体の全圧を低くし、温度を低くする。
- ② 混合気体の全圧を高くし、温度を低くする。
- ③ 混合気体の全圧を低くし、温度を高くする。
- ④ 混合気体の全圧を高くし、温度を高くする。

問 3 窒素や水素の分圧を一定に保ったまま温度を高くすると v_1 は増加する。この主な原因として、適切なものを次の①～⑤からすべて選び、その番号を記せ。

- ① 活性化エネルギーが低下するため。
- ② 大きな運動エネルギーをもつ窒素が増えるため。
- ③ 大きな運動エネルギーをもつ水素が増えるため。
- ④ 反応熱が大きくなるため。
- ⑤ 反応熱が小さくなるため。

問 4 触媒を用いることにより v_1 を増加させることができる。アンモニアの生成反応について、反応の進行に伴うエネルギーの変化を正しくあらわしたものはどれか。最も適切なものを次の①～④から 1 つ選び、その番号を記せ。ただし、実線は触媒が存在しない場合、点線は触媒が存在する場合をあらわす。



問 5 平衡状態における v_1 と v_2 の関係を正しくあらわしたものはどれか。触媒が存在しない場合と、存在する場合について、それぞれ最も適切なものを次の①～④から 1 つ選び、その番号を記せ。

- ① $v_1 \geq v_2$
- ② $v_1 \leq v_2$
- ③ $v_1 = v_2 = 0$
- ④ $v_1 = v_2 \neq 0$

問 6 窒素 x [mol] と水素 $3x$ [mol] を反応させたところ平衡状態に達した。平衡時のアンモニアの物質量を a [mol] としたとき、表 1 の空欄①～③に当てはまる物質量を数式で答えよ。

表 1 反応開始前および平衡時における各物質の物質量 [mol]

	N_2	H_2	NH_3	気体分子の合計
反応開始前	x	$3x$	0	$4x$
平衡時	①	②	a	③

問 7 問 6 の反応条件において、平衡時の全圧を P [Pa] としたとき、平衡時の水素の分圧を、 a , x , P を用いて式で答えよ。

問 8 問 6 の反応条件において、ある温度で平衡状態に達したとき、 $a = x$ となった。このときの(1)式の圧平衡定数 K_p を、全圧 P [Pa] を用いて式で答えよ。

(2) 物質の状態に関する問 1～問 4 の答を解答欄に記入せよ。

問 1 次の文章の空欄 ～ に当てはまる最も適切な語句を記せ。

あらゆる物質は、固体、液体、気体のいずれかの状態をとる。この3つの状態を物質の という。固体から液体への変化を , 液体から固体への変化を , 液体から気体への変化を , 気体から液体への変化を , 固体から気体への変化を という。

密閉容器中に水を入れ一定温度に保ったところ、水と水蒸気が共存する平衡状態に至った。この平衡を 平衡といい、このときの水蒸気の圧力を水の蒸気圧という。

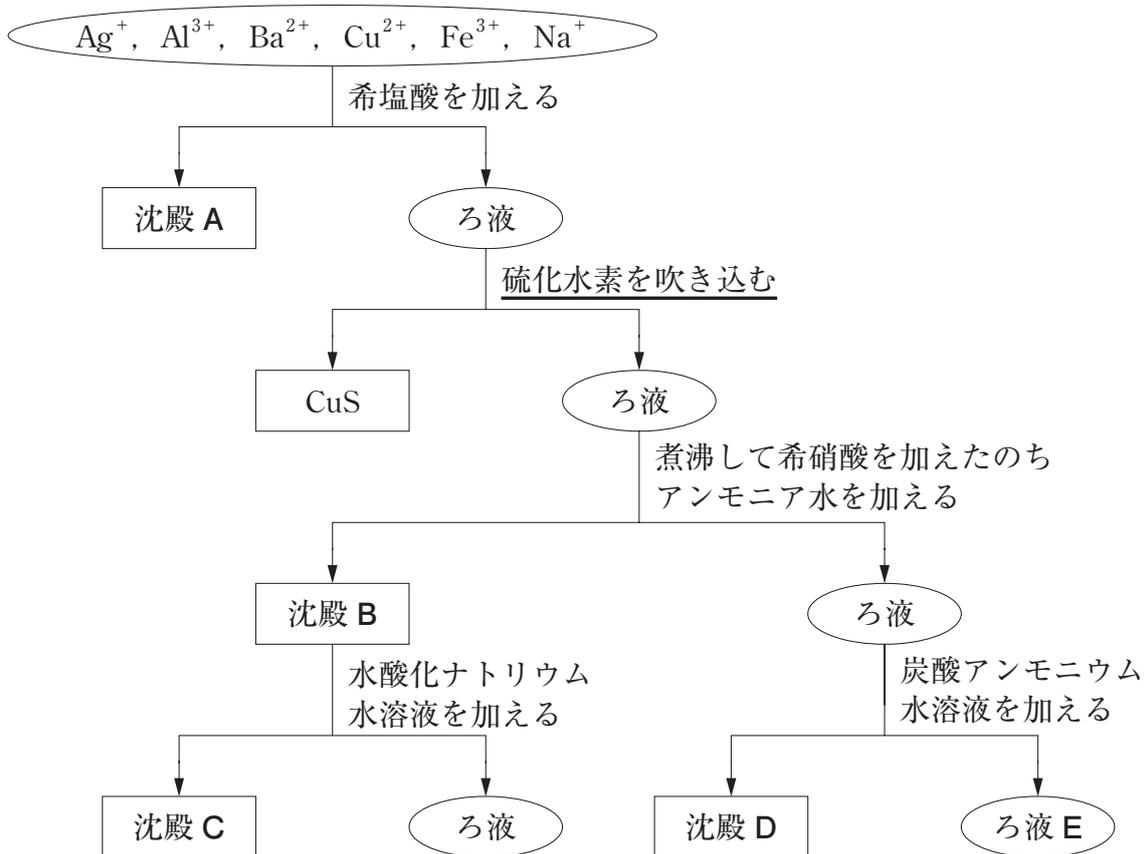
問 2 同じ 16 族元素の水素化合物同士で比較すると、硫化水素 H_2S の沸点 (-60°C) に比べて水 H_2O の沸点は高い。水の沸点が高い理由を 20 字以内で説明せよ。

問 3 容積 831 L で一定の密閉容器に水蒸気のみを封入して 127°C に保ったところ、容器内の圧力は $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ であった。この容器内の温度を 60°C に下げ、十分な時間放置した後に、容器内に生じる液体の水の物質量を有効数字 2 桁で答えよ。ただし、 60°C における水の蒸気圧は $1.98 \times 10^4 \text{ Pa}$ とし、水蒸気は理想気体とみなしてよい。また、液体の水の体積は無視できるものとする。

問 4 ある量の塩化ナトリウムを純水に溶かした溶液の蒸気圧は、同じ温度の純水の蒸気圧よりも 0.50 % 低かった。この溶液に含まれる塩化ナトリウムの質量パーセント濃度を有効数字 2 桁で答えよ。ただし、この水溶液は希薄溶液として扱えるものとし、希薄溶液の蒸気圧は、純溶媒の蒸気圧と、その溶液中に占める溶媒のモル分率との積で表されるものとする。

3

(1) 次の図は、 Ag^+ 、 Al^{3+} 、 Ba^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Na^+ の6種類の金属イオンを含む水溶液から、各イオンを分離する操作を示したものである。この操作に関する次の問1～問5の答を解答欄に記入せよ。



問1 沈殿 A, C, D を化学式で記せ。また、沈殿の色として最も適切なものを次の①～⑥から1つずつ選び、その番号を記せ。ただし、同じ番号を複数回選んでもよい。

- | | | |
|-------|-------|-------|
| ① 白色 | ② 黄色 | ③ 赤褐色 |
| ④ 濃青色 | ⑤ 青白色 | ⑥ 黒色 |

問 2 ろ液 E を白金線の先に付け、炎の中に入れたときに炎が呈する色として最も適切なものを次の①～⑥から 1 つ選び、その番号を記せ。

- ① 青色 ② 青緑色 ③ 黄緑色
④ 黄色 ⑤ 赤色 ⑥ 赤紫色

問 3 沈殿 B には 2 種類の化合物が含まれる。沈殿 B に水酸化ナトリウム水溶液を加えたところ、一方の化合物のみが溶解した。この反応のイオン反応式を記せ。

問 4 沈殿 C に酸を加えて溶解し、ある試薬を加えたところ血赤色を呈した。この試薬に含まれる化合物として最も適切なものを次の①～⑤から 1 つ選び、その番号を記せ。

- ① H_2O_2 ② H_2S ③ KSCN
④ $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ⑤ $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

問 5 図の下線部について、 0.05 mol/L の Cu^{2+} を含む溶液に十分な量の硫化水素を通じたところ、沈殿が生じた。沈殿生成後の溶液に溶解している Cu^{2+} の濃度を有効数字 1 桁で答えよ。また、計算過程も示せ。ただし、沈殿生成後の溶液の pH は 1.0 であり、この溶液に溶解している硫化水素の濃度は 0.1 mol/L であった。硫化水素は、



のように電離し、その電離定数 K_a は $1 \times 10^{-21} (\text{mol/L})^2$ とする。また、 CuS の溶解度積 K_{sp} は $6 \times 10^{-36} (\text{mol/L})^2$ とする。

(2) 次の文章を読んで、問1～問5の答を解答欄に記入せよ。

シュウ酸カルシウム一水和物 $\text{Ca}(\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 146 mg を、窒素ガスを流通させた雰囲気中でゆっくり加熱したところ、下の図に示すように3段階で質量が減少した。このように加熱によって固体物質の質量が減少するのは、高温で分解が起こり、固体物質の一部が気体となって失われたためである。300℃、550℃、800℃まで加熱した段階では、それぞれ固体の純物質 ア、イ、ウ が生成しており、これらの質量は 128 mg、100 mg、56 mg であった。

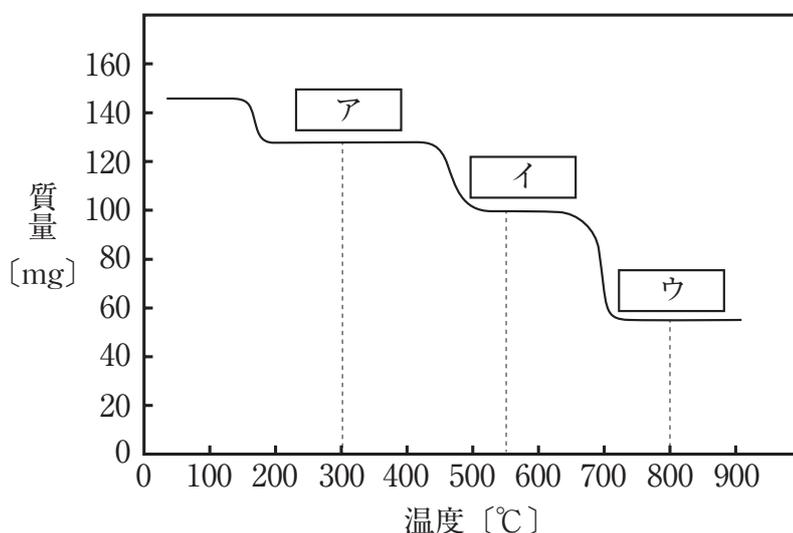


図 シュウ酸カルシウム一水和物を加熱したときの質量の変化

固体の純物質 ウ を試験管に取り、水を数滴加えたところ、発熱しながら反応した。これにさらに水を加えると、透明な溶液が得られた。この溶液に二酸化炭素を通じると白色の沈殿が生じたが、さらに二酸化炭素を通じ続けると、沈殿が溶解し、再び透明な溶液になった。

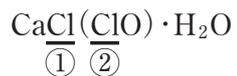
水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ は エ とも呼ばれる白色の粉末である。これに塩素 Cl_2 を吸収させると、さらし粉が得られる。さらし粉の主成分は $\text{CaCl}(\text{ClO}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ である。さらし粉を水に溶かすと、 ClO^- を生じる。このイオンは強い酸化作用があるため、漂白や殺菌に利用されている。

問 1 固体の純物質 ア ~ ウ の化学式を下の①~⑧から1つずつ選び、その番号を記せ。

- | | | |
|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| ① Ca | ② CaC ₂ | ③ Ca(OH) ₂ |
| ④ CaCO ₃ ·H ₂ O | ⑤ CaCO ₃ | ⑥ Ca(HCO ₃) ₂ |
| ⑦ Ca(COO) ₂ | ⑧ CaO | |

問 2 下線部 a について、白色の沈殿が溶解するときの反応を化学反応式で記せ。

問 3 下線部 b について、次に示す①, ②の塩素の酸化数をそれぞれ記せ。



問 4 エ に当てはまる最も適切な語句および下線部 c のイオンの名称を記せ。

問 5 カルシウムとマグネシウムはいずれも 2 族に属する元素であるが、性質が異なる点が多い。次の A)～E) の記述は、下の①～④のどれに該当するか、1 つずつ選び、その番号を記せ。

- A) 炎色反応を示す。
- B) 単体は、その元素のイオンを含む水溶液を電気分解することで得られる。
- C) 水酸化物は水に少し溶けて、強い塩基性を示す。
- D) 塩化物は潮解性がある。
- E) 硫酸塩は水によく溶ける。

- ① マグネシウムとカルシウムの両方に当てはまる。
- ② マグネシウムにのみ当てはまる。
- ③ カルシウムにのみ当てはまる。
- ④ マグネシウムにもカルシウムにも当てはまらない。

4

(1) 次の文章を読んで、問1～問5の答を解答欄に記入せよ。

有機化合物 **A** および **B** は互いに構造異性体であり、分子量は122である。
A および **B** に含まれる炭素、水素、酸素の質量百分率は、それぞれ、78.7%、
 8.2%、13.1%である。**A** は1個の不斉炭素原子をもつが、**B** はもたない。

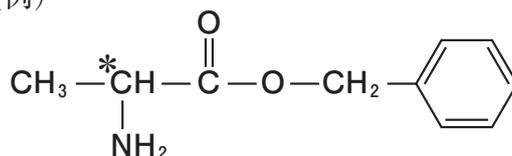
A および **B** は いずれも中性の化合物であり、金属ナトリウムと反応して水素を発生する。また、**A** および **B** のいずれも濃硫酸とともに加熱すると、分子内脱水反応によりスチレンが生成する。

問1 化合物 **A** の分子式を記せ。

問2 下線部 a から、化合物 **A** および **B** に共通して含まれると予想される官能基の名称を記せ。

問3 化合物 **A**、**B** それぞれの構造式を、次の例にならって記せ。**A** の不斉炭素原子については、構造式中で該当する原子の左上に*印をつけよ。

(例)



*印は不斉炭素原子を表す。

問 4 化合物 A, B それぞれの化学的性質について正しいものを, 次の①～⑥から1つずつ選び, その番号を記せ。同じ番号を複数回選んでもよい。

- ① フェーリング液とともに加熱すると赤色沈殿を生じる。
- ② 塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えると, 青紫色～赤紫色を呈する。
- ③ 塩基性水溶液中でヨウ素と反応し, ヨードホルムの黄色沈殿が生成する。
- ④ ヨウ素ヨウ化カリウム水溶液を加えると, 青色～赤紫色を呈する。
- ⑤ アンモニア性硝酸銀水溶液を加えて加熱すると, 金属銀が析出する。
- ⑥ おだやかに酸化すると, 同じ炭素数のアルデヒドが生成する。

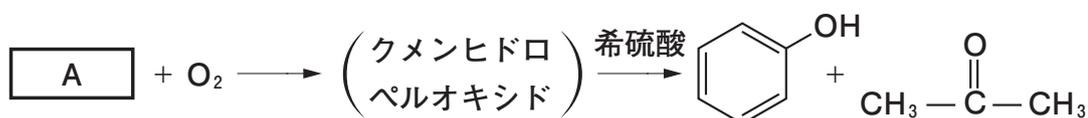
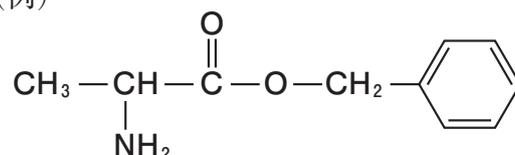
問 5 次の文章中の下線部 b～g の記述について, スチレンの性質として正しい場合には○印を, 誤っている場合には正しい語句または数字を記せ。

スチレンの沸点は, トルエンの沸点よりも b 高い。スチレンに対し, 水とジエチルエーテルを注いで分液漏斗に移し, 振り混ぜた後に静置すると, スチレンは主に c 水層から抽出される。スチレンは幾何異性体(シストランス異性体)を d もつ。白金などの触媒のもとで, 高温高压の条件で, 1 mol のスチレンは e 2 mol の水素 H_2 と反応して, エチルシクロヘキサンを生成する。スチレンは重合によって鎖状構造をもつ f 熱硬化性樹脂を生成する。また, スチレンと *p*-ジビニルベンゼンとの共重合体にスルホ基を導入したものは, g 陽イオン交換樹脂として利用されている。

(2) フェノールに関する問1～問3の答を解答欄に記入せよ。

問1 下の3つの反応では、いずれもフェノールが生成する。化合物A～Cの構造式を、次の例にならって記せ。

(例)



問2 フェノール水溶液に臭素水を加えると、2,4,6-トリブロモフェノールが生成した。この反応の前後で溶液のpHはどう変化するか。最も適切なものを次の①～③から1つ選び、その番号を記せ。また、そのように変化する理由を20字以内で記せ。

- ① 反応後のpHは反応前より大きくなる。
- ② 反応後のpHは反応前より小さくなる。
- ③ 反応の前後でpHはほとんど変化しない。

問 3 化合物 **D** は、フェノールに濃硫酸と濃硝酸の混合物を作用させて得られた生成物の 1 つであり、フェノール分子の水素原子 1 個以上が同数のニトロ基に置換された構造をもつ。ある量の **D** を完全燃焼させたところ、二酸化炭素 528 mg と水 72 mg が生じた。ただし、化合物 **D** のすべての炭素と水素は、それぞれ二酸化炭素と水になるものとする。次の各問に答えよ。

- 1) 化合物 **D** に含まれる炭素原子と水素原子の数の比を、最も簡単な整数値で記せ。
- 2) 化合物 **D** の分子式を記せ。

5

(1) 合成繊維に関する次の文章を読んで、問1～問4の答を解答欄に記入せよ。

^aナイロン6は、環状構造のモノマーXに少量の水を加えて加熱して得られる。このように、環状構造の単量体から鎖状の高分子ができる重合を 重合と呼ぶ。^bナイロン66は、アジピン酸とモノマーYの混合物を加熱しながら、生成する を除去すると得られる。このように、 などの簡単な分子がとれて鎖状の高分子が生成する重合を 重合と呼ぶ。

ナイロン66のメチレン鎖の部分を に置き換えたポリ(*p*-フェニレンテレフタルアミド)は、代表的な 繊維の一つである。この繊維は、ナイロン66よりもさらに強度や耐久性に優れるため、消防士の服や防弾チョッキに使われている。

実験室でナイロン66の繊維を得るには、界面重合が適している。この重合は、アジピン酸の代わりにアジピン酸ジクロリドを用いて、下記のように行われる。

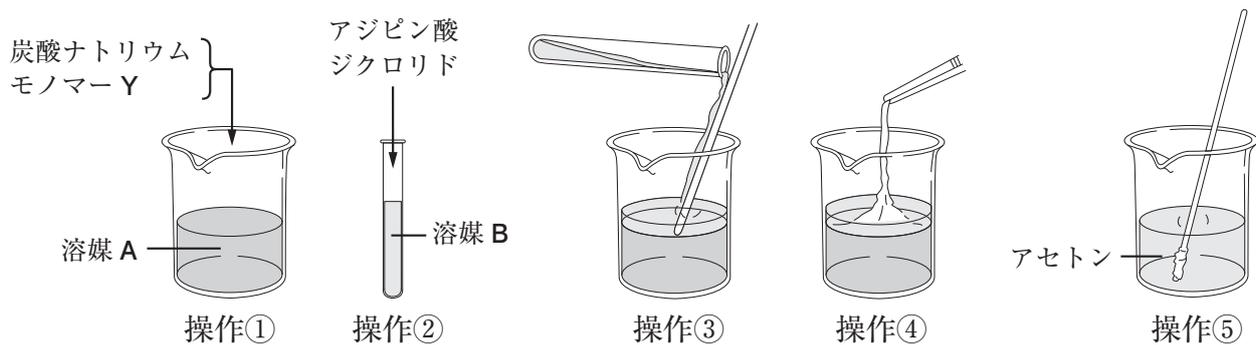
操作① 50 mLの溶媒Aに、1 gの炭酸ナトリウムと1 gのモノマーYを加え、よくかき混ぜる。

操作② 10 mLの溶媒Bに、1 mLのアジピン酸ジクロリドを溶かす。

操作③ 操作①で得られた溶液の上に、操作②で得られた溶液を静かに注ぐ。

操作④ 界面(境界面)にできた膜をピンセットで静かに引き上げ、ガラス棒に巻きつける。

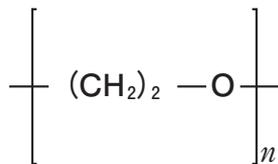
操作⑤ 得られた糸をアセトンで洗い、乾燥させる。



問 1 空欄 ~ に当てはまる最も適切な語句を記せ。

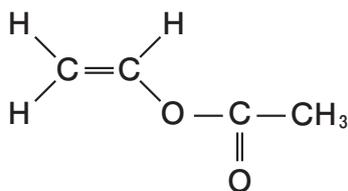
問 2 下線部 a, b について, ナイロン 6 とナイロン 66 の構造式を下の例にならって記せ。

(例)



問 3 モノマー X, Y の構造式と名称を下の例にならって記せ。

(例) 構造式



名称

酢酸ビニル

問 4 溶媒 A, B として最も適切なものを, 次の①~⑤からそれぞれ 1 つずつ選び, その番号を記せ。

① アセトン

② エタノール

③ 酢酸

④ ヘキサン

⑤ 水

(2) 次の文章を読んで、問1～問5の答を解答欄に記入せよ。

タンパク質、炭水化物(糖類)、脂質は三大栄養素とよばれ、筋肉や血液などの主要な構成物質として知られている。

タンパク質は、約20種類のアミノ酸がペプチド結合で連結した高分子化合物である。これらのアミノ酸の中で、生体内で合成されない、もしくは合成されにくいアミノ酸を という。アミノ酸がペプチド結合で連結したものをペプチドといい、a 2分子のアミノ酸が結合したものをジペプチド という。

多糖類は多数の単糖類が 結合を形成して重合した、直鎖状構造もしくは枝分かれ構造をもつ高分子化合物である。単糖類が2分子、3分子結合したものを、それぞれ二糖類、三糖類という。代表的な二糖類にマルトースがある。b マルトースの水溶液は還元性を有しており、フェーリング液とともに熱すると の赤色沈殿を生じる。

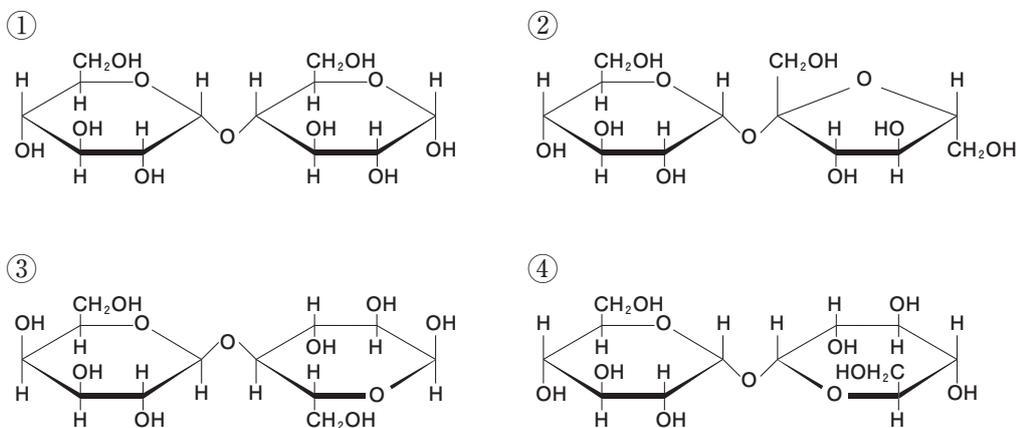
脂質の一種である c 油脂は、グリセリンに高級脂肪酸が 結合により連結した化合物である。油脂を構成する脂肪酸として高級飽和脂肪酸を多く含む場合、油脂は常温で の状態をとる。油脂に水酸化ナトリウムなどの強塩基の水溶液を加えて加熱すると、 とよばれる加水分解反応が起こり、脂肪酸の塩とグリセリンが生成する。人体において油脂は、すい臓から分泌される酵素である によって加水分解される。

問1 空欄 ～ に当てはまる最も適切な語句を記せ。

問2 空欄 に当てはまる化合物名、空欄 に当てはまる酵素名を記せ。

問3 下線部aについて、グルタミン酸とリシンからなる鎖状ジペプチドには、分子中の全ての官能基がペプチド結合を形成できるとしたとき、何種類の構造異性体が存在するか答えよ。

問 4 下線部 b について，水溶液中で還元性をもたない二糖類を次の①～④からすべて選び，その番号を記せ。



問 5 下線部 c について，3種類の鎖状の不飽和脂肪酸とグリセリンから構成される油脂 X がある。油脂 X 0.10 mol に水素を付加し，飽和脂肪酸のみからなる油脂にするのに，標準状態で 13.4 L の水素が必要であった。油脂 X を構成する 3種類の不飽和脂肪酸を，次の①～⑥から選び，その番号を記せ。

- ① ミード酸 ($C_{19}H_{33}COOH$)
- ② パルミトレイン酸 ($C_{15}H_{29}COOH$)
- ③ アラキドン酸 ($C_{19}H_{31}COOH$)
- ④ ドコサヘキサエン酸 ($C_{21}H_{31}COOH$)
- ⑤ エイコサペンタエン酸 ($C_{19}H_{29}COOH$)
- ⑥ リノール酸 ($C_{17}H_{31}COOH$)

