

令和3年度 入学者選抜学力検査問題

理 科

注 意 事 項

- 1 試験開始の合図があるまで、問題冊子及び解答用紙の中を見てはいけません。
- 2 出題科目、ページ及び解答用紙の枚数は、下表のとおりです。

出題科目	ページ	解答用紙枚数
物 理	1 ～ 10	5 枚
化 学	12 ～ 22	6 枚
生 物	23 ～ 34	5 枚
地 学	35 ～ 44	6 枚

※物理・化学・地学には、選択問題があります。

各科目の冒頭に、選択問題に関する指示があるため、よく読んだうえで解答すること。
なお、解答用紙に「選択問題チェック欄」があり、選択した問題には✓を記入したうえで解答すること。

- 3 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の枚数の過不足や汚れ等に気がついた場合は、手を挙げて監督者に知らせてください。
- 4 試験開始後、すべての解答用紙に受験番号、志望学部及び氏名を記入してください。
受験番号の記入欄はそれぞれ2箇所あります。
- 5 解答はすべて解答用紙の指定された解答欄に記入してください。
- 6 問題冊子の余白は適宜使用してください。
- 7 各問題の配点は100点満点としたときのものです。
- 8 試験終了後、問題冊子は持ち帰ってください。

化 学

1～4は必答問題である。5と6は選択問題である。選択問題はいずれか1つだけを選び、解答用紙の選択問題チェック欄に✓を記入し、解答すること。5と6を両方チェックした場合、もしくは両方チェックしなかった場合は、いずれも採点の対象とならないので注意すること。

- 必要であれば、次の値を用いなさい。

原子量：H=1.00, C=12.0, N=14.0, O=16.0, Na=23.0, S=32.0, Ca=40.0, Cu=63.5

気体定数： $R=8.31 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$

ファラデー定数： $F=9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$

$\sqrt{2}=1.41$, $\sqrt{3}=1.73$

理想気体 1 mol の体積 (標準状態：0℃, $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$)：22.4 L

- 気体は理想気体と仮定しなさい。

1 【必答問題】 次の文章を読んで、後の問いに答えなさい。(配点 20)

シュウ酸カルシウムの水和物 $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ の粉末を乾燥した窒素気流中（酸素がない条件のもと）で徐々に加熱したところ、図 1 に示すような質量の変化に伴って、A, B, C, D の 4 つの状態が観測された。温度を上昇させると、まず A から B への変化に伴って質量が減少し、B に変化した後しばらく質量が一定となった。さらに温度を上昇させると、同様な質量変化が繰り返され、最終的に D へ変化した後は質量の変化が見られなくなった。A から B, A から C, A から D への変化において、それぞれ 12.3%, 31.5%, 61.6% の質量減少が観測された。B, C, D では、ともに白色の固体の化合物が生成した。

D で生成した化合物はイオン結晶であり、 と同様、図 2 のような立方体の単位格子をもつ結晶構造をとる。イオン結晶を構成する陽イオンと陰イオンは 力によって結合している。 力の大きさは、陽イオンと陰イオンの電荷の絶対値の積に比例し、両イオンの中心間距離の二乗に反比例する。また、イオン結晶の安定性には、その結晶を構成する陽イオンと陰イオンの大きさが深く関わっている。一般に、イオン結晶は陽イオンと陰イオンが接するとき であるが、陰イオンの半径 (R) と比べて陽イオンの半径 (r) を小さくしていくと、図 3 の(b)に示すように、あるところで陰イオンどうしが接する。このときの陽イオンと陰イオンの半径比 ($\frac{r}{R}$) を限界半径比という。したがって、 $\frac{r}{R} < \text{①}$ ならば、図 2 の結晶構造は となる。

問 1 A から B への質量減少は脱水に起因する。 n の値を計算し、整数で答えなさい。

問 2 B から C への変化および C から D への変化において、それぞれどのような反応が生じたと考えられるか、質量減少率に基づいた計算から説明しなさい。また、それらの反応をそれぞれ化学反応式で表しなさい。

問 3 空欄 に入る化合物として正しいものを次から 1 つ選び、記号で答えなさい。

- | | | |
|-------------|------------|--------------|
| (a) 塩化セシウム | (b) 硫化亜鉛 | (c) 酸化亜鉛 |
| (d) 塩化カルシウム | (e) ダイヤモンド | (f) 酸化チタン |
| (g) 塩化ナトリウム | (h) ケイ素 | (i) フッ化カルシウム |

問 4 空欄 に入る適切な語句を答えなさい。

問 5 空欄 と に入る語句として、「安定」あるいは「不安定」のどちらか適切な方を入れなさい。

問 6 空欄 ① に入る適切な限界半径比の値を有効数字 2 桁で答えなさい。導出過程も示しなさい。

問 7 D で生成した化合物および問 3 で答えた化合物の単位格子の 1 辺の長さは、それぞれ 0.48 nm および 0.56 nm である。融点が高いのはどちらの化合物の方が、解答欄に示したもののうち適切な方を○で囲みなさい。また、その化合物の方が融点が高い理由を 60 字以内で述べなさい。

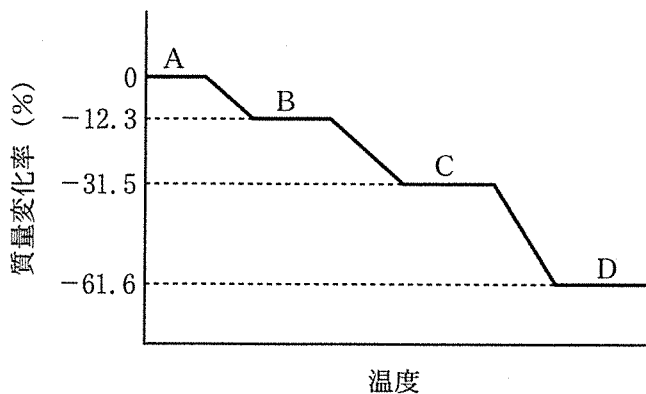


図 1

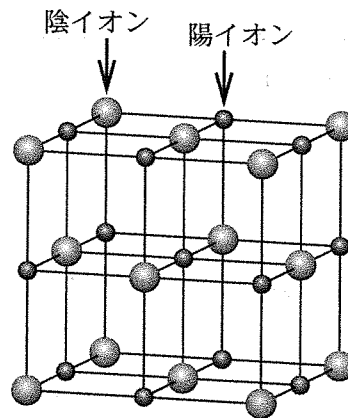


図 2

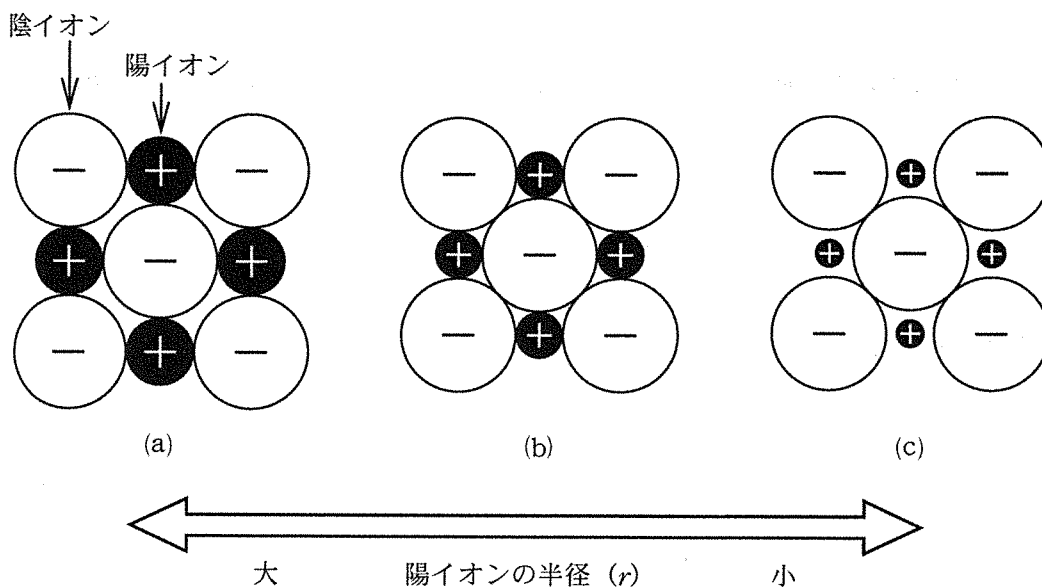
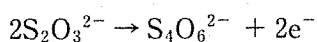


図 3

2 【必答問題】 次の文章を読んで、後の問いに答えなさい。(配点 20)

コニカルビーカーに濃度不明の過酸化水素水を 10.0 mL 量りとり、希硫酸を加えて酸性にした。さらに、0.200 mol/L のヨウ化カリウム水溶液 20.0 mL を加えて、過剰量のヨウ化カリウムと反応させたところ、溶液が褐色になった。この溶液に 0.100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液を滴下 すると、溶液の色が薄くなった。ここで、滴定の終点を見やすくするために指示薬としてデンプン水溶液を加えて、さらにチオ硫酸ナトリウム水溶液の滴下を続けると、12.0 mL 滴下したところで溶液の色が変化し終点となった。なお、チオ硫酸ナトリウムは還元剤であり、チオ硫酸イオンは次式のように電子を与えることができる。また、水溶液中で $S_2O_3^{2-}$ イオンと $S_4O_6^{2-}$ イオンはともに無色である。



問 1 酸性水溶液中での過酸化水素とヨウ化カリウムの化学反応式を書きなさい。

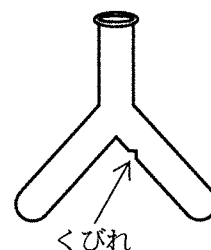
問 2 下線部①の滴定中に起こる反応を、電子を含まないイオン反応式で書きなさい。

問 3 下線部②での溶液の色の変化を答えなさい。

問 4 この実験で用いた過酸化水素水のモル濃度を有効数字 3 桁で求めなさい。計算過程も示しなさい。

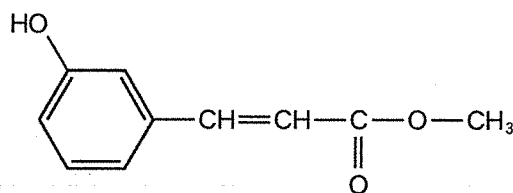
問 5 この実験に用いるために、チオ硫酸ナトリウム五水和物 $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ の結晶を蒸留水に溶かして 0.100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液を 100 mL 調製した。このとき必要としたチオ硫酸ナトリウム五水和物は何 g か。有効数字 3 桁で答えなさい。

問 6 過酸化水素水に少量の酸化マンガン (IV) を加えると酸素が発生する。右図のような片方にくびれのついたふたまた試験管を用いて、発生した酸素を捕集する場合の実験装置の図を描きなさい。



- 3 【必答問題】 次の問いに答えなさい。なお、化合物の構造式については以下の例にならって書きなさい。(配点 20)

構造式の書き方の例



- 問 1 炭素数 2 のアルキン を赤熱した鉄と接触させると 分子が結合し、分子量が 78 の化合物 A が生成する。炭素数 3 のアルケンに、触媒を用いて化合物 A を付加させると化合物 B が生成し、これを酸素で酸化させると化合物 C が生成する。その後、硫酸で分解すると、水溶液中で弱酸性を示す化合物 D と中性の化合物 E が生成する。この一連の反応は、化合物 D の工業的製法として知られている。その製法は化合物 B を原料とすることから、その名にちなんで 法とよばれている。

- (1) 空欄 に入る適切な整数を答えなさい。さらに、空欄 に入る適切な語句を答えなさい。
- (2) 下線部①の化合物名を答えなさい。
- (3) 化合物 A～E の構造式をそれぞれ答えなさい。
- (4) 炭素数 5 のアルカンの構造異性体のうち、沸点が最も低いと予想される化合物の名称と構造式をそれぞれ答えなさい。また、そのように予想した理由を 70 字以内で書きなさい。

- 問 2 アニリンに無水酢酸を反応させると、化合物 F と酢酸が生成する。一方、アニリンの希塩酸溶液を氷で十分冷却し、これに、亜硝酸ナトリウム水溶液を加えると化合物 G が生じる。この水溶液を 5℃以上に温めると、化合物 G は分解する。^②

- (1) 化合物 F の構造式を答えなさい。
- (2) 化合物 G を生成する反応の名称を答えなさい。
- (3) 下線部②の反応を化学反応式で答えなさい。

- 問 3 安息香酸、フェノール、トルエンをジエチルエーテルに溶解させた混合溶液に、水酸化ナトリウム水溶液を加えてよく振って混合し、水層 1 とエーテル層 1 に分離した。水層 1 に二酸化炭素を十分に通じたのち、ジエチルエーテルを加えてよく振って混合し、水層 2 とエーテル層 2 に分離した。水層 2 に塩酸を加えると遊離する化合物は何か。構造式で答えなさい。

4 【必答問題】 次の文章を読んで、後の問いに答えなさい。(配点 20)

酸化還元反応にともなって発生するエネルギーを、電気エネルギーに変換する装置を電池（化学電池）という。電池から電気エネルギーをとり出すことを放電といい、放電すると、もとの状態に戻すことができない電池を一次電池という。一方、放電した電池に外部から電気エネルギーを与えることを ア といい、 ア できる電池を二次電池または蓄電池という。

マンガン乾電池やアルカリマンガン乾電池（起電力：約 1.5 V）は代表的な一次電池である。これらの乾電池では、負極 イ として亜鉛、正極 イ として酸化マンガン（IV）が用いられている。

今日最も多く使用されるようになった二次電池にリチウムイオン電池がある。リチウムイオン電池の負極 イ には、おもにリチウムを含む黒鉛、正極 イ には、おもにコバルト酸リチウムなどのリチウム遷移金属酸化物、そして電解質溶液にリチウム塩を溶かした有機化合物が用いられている。他の二次電池と比べて起電力が高く（約 3.7 V）、多くの電気を蓄えることができる。また、容易に小型化することができ、軽量なため、携帯電話やノートパソコン、電気自動車など、さまざまな製品に用いられている。

水素や天然ガス、メタノールなどの還元剤と酸素などの酸化剤との酸化還元反応を利用した電池を ウ という。水素 - 酸素 ウ が代表的で、水素と酸素が反応して水が生成する際に、放出されるエネルギーの一部を電気エネルギーに変換している（図 1）。負極板と正極板の間にいれる電解質溶液として、水酸化カリウム水溶液やリン酸水溶液、あるいは電解質溶液に代えて、イオン交換膜を用いた ウ が実用化されている。水素と酸素が利用される理由は、水素は エ を放出しやすく酸素は エ を受容しやすい性質をもち、そして、いずれも気体であるから連続的に供給が可能であるためである。このように、水素 - 酸素 ウ は、発電するときに温室効果ガスとして知られている A や窒素酸化物や硫黄酸化物など大気を汚染する有害物質を全く排出しないクリーンなエネルギー源である。

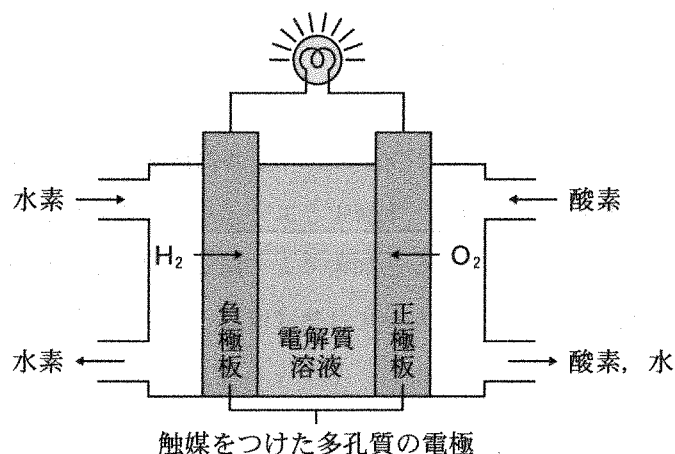
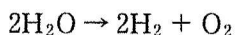


図 1

問 1 文中の ア ~ エ に入る適切な語句を答えなさい。

問 2 下線部①を放電すると、負極の層状構造を持つ黒鉛の層の間にあつたりチウムがリチウムイオンとして電解質溶液中に溶け出すとともに、電子が正極に移動する。一方、正極では層状構造を持つコバルト酸化物 (CoO_2) が電子を受け取るとともに、リチウムイオンがその層の間に入りコバルト酸リチウム (LiCoO_2) となる。化学式 CoO_2 と LiCoO_2 に含まれるコバルトの酸化数を、それぞれ答えなさい。

問 3 下線部②について、リチウムイオン電池の電圧 (起電力) は、水の電気分解に要する電圧よりも大きいことから、他の電池のように電解質溶液に水を用いることができない。水の電気分解に要する電圧を有効数字 2 桁で求めなさい。計算過程も示しなさい。ただし、水の電気分解



により、酸素 1 mol を生成するために必要な電気エネルギーは 474 kJ とする。なお、電気エネルギー、電荷 (電気量)、電圧の間には次の関係がある。

$$\text{電気エネルギー [J]} = \text{電荷 [C]} \times \text{電圧 [V]}$$

問 4 下線部③について、一定電流 20.0 A (アンペア) で 3620 秒発電したとする。使用した水素の標準状態における体積を有効数字 2 桁で求めなさい。計算過程も示しなさい。なお、使用した水素がすべて反応し、電気エネルギーに変換されたものとする。

問 5 下線部④を用いたアルカリ型 ウ の負極と正極でおこる反応を、電子 e^- を含んだイオン反応式でそれぞれ答えなさい。

問 6 下線部④を用いたアルカリ型 ウ では、純粋な酸素と水素を使用する。その理由は、例えば酸化剤として空気を使用した場合、水酸化カリウムが空気に含まれる A と反応することにより劣化するからである。この反応を化学反応式で答えなさい。

5 【選択問題】 次の文章を読んで、後の問いに答えなさい。(配点 20)

ゼラチンは動物の結合組織に多く含まれるコラーゲンと呼ばれるタンパク質を変性させた水溶性タンパク質であり、種々のアミノ酸が脱水縮合して直鎖状に結合した高分子である。ゼラチンを加水分解反応させた後、反応液をセロハンの袋に入れて口をしっかりと閉じ、純水を入れたビーカーに浸して静置した。^① 1日1回水を交換しながら7日間置き、交換した水を全て混合して濃縮し、これを溶液Aとした。この溶液Aに含まれているアミノ酸を分離するために、以下のような実験を行った。まず図1のようにガラス器具(カラム)に陽イオン交換樹脂(樹脂がもつ陽イオンと、溶液中の陽イオンを入れかえる性質のある樹脂)を充填し、pHを4に調整した溶液Aを上部から流して、流出液を回収した。その後、流出液中に有機化合物が含まれなくなるまでpH4の緩衝液をカラム上部から流して、流出液を回収した。この2つの流出液を混合して流出液Bとした。続いて、カラム上部からpH7の緩衝液を有機化合物が流出液中に含まれなくなるまで流し、流出液を回収してこれを流出液Cとした。最後に、pH11の緩衝液を流出液中に有機化合物が含まれなくなるまでカラム上部から流し、流出液を回収してこれを流出液Dとした。

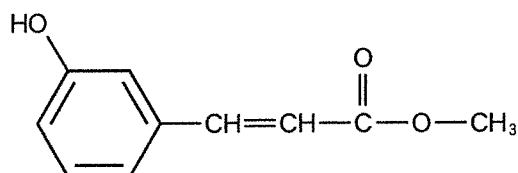
問1 下線部①について次の問いに答えなさい。

- (1) この操作の名称を答えなさい。
- (2) この操作では、どのような性質の違いにより物質が分離されるのか、選択肢Iより最も適切なものを選びなさい。

問2 溶液Aの中には、ゼラチンが完全に加水分解されて生じたアミノ酸とゼラチンの一部が分解されて生じたペプチドが含まれる可能性がある。アミノ酸は存在するが、トリペプチド以上のペプチドは存在しないことを示す適切な検出方法の組み合わせと反応の有無を選択肢IIより選び、番号で答えなさい。

問3 流出液Cには、分子量100以下の α -アミノ酸が分離された。この α -アミノ酸225mgを完全に燃焼させると、二酸化炭素264mgと水135mgが生じた。また、元素分析を行ったところ、質量パーセントで窒素原子を18.7%含んでいること、硫黄原子を含まないことがわかった。この α -アミノ酸の名称と構造式を書きなさい。導出過程も示しなさい。なお、構造式は以下の例にならって書きなさい。

構造式の書き方の例



問 4 図 2 に示す 5 種類のアミノ酸 (a ~ e) は、流出液 B と流出液 C に 2 種類ずつ、流出液 D に 1 種類が分離された。それぞれのアミノ酸がどの流出液に分離されたか答えなさい。また、これらのアミノ酸はどのような性質の差異をもとに分離されたか、適切なものを選択肢 I より選びなさい。

< 選択肢 I >

分子間力, 分子量, 極性, 活性化エネルギー, 等電点, 溶解度, 基質特異性

< 選択肢 II >

番号	反応名	反応の有無	反応名	反応の有無
1	ニンヒドリン	あり	キサントプロテイン	なし
2	ニンヒドリン	なし	キサントプロテイン	あり
3	ニンヒドリン	あり	ビウレット	なし
4	ニンヒドリン	なし	ビウレット	あり
5	ニンヒドリン	あり	ヨードホルム	なし
6	ニンヒドリン	なし	ヨードホルム	あり

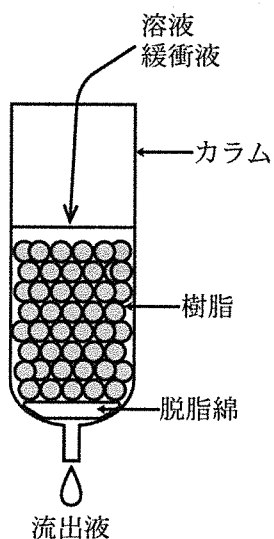


図 1

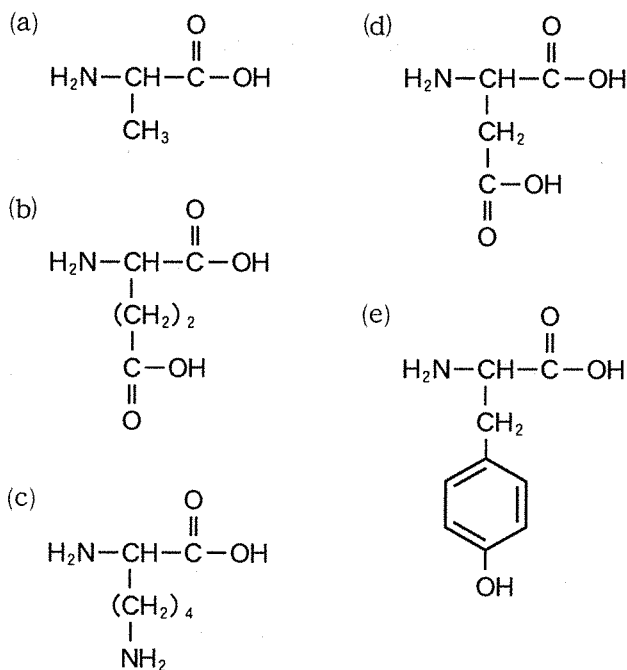
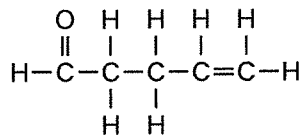


図 2

6 【選択問題】 次の文章を読んで、後の問いに答えなさい。構造式は以下の例にならって書きなさい。(配点 20)

構造式の書き方の例



エタノールはアルケンからリン酸触媒・加熱・加圧により工業的に製造され、飲料用エタノールは①グルコースなどの糖からアルコール発酵によってつくられる。エタノールなどの低級アルコールは水溶性であるが、②高級アルコールは水に溶けにくい。消毒用エタノールは高純度エタノールを水で希釈して濃度を調整するが、③高濃度で使用するのが一般的である。インフルエンザウイルスやコロナウイルスはリン脂質やタンパク質からなるウイルス外被（エンベロープ^{註1}）を持ち、高濃度エタノールで無毒化される。このリン脂質は、④一般にグリセリン1分子に高級脂肪酸2分子とリン酸1分子がエステル結合し、さらにリン酸基にアルコールがエステル結合したものである。また、殺菌効果があるホルムアルデヒドは、⑤焼いた銅線にアルコールAを触れさせると生成する。一方、エタノールは酸化されると⑥有害な物質Bが生成され、物質Bはさらに酸化されるとカルボン酸になる。

問 1 下線部①のエタノールの2種類の製造方法について、その化学反応式を答えなさい。

問 2 アルケンからのアルコール合成では、はじめに二重結合に H^+ が付加することにより、炭素陽イオンを有する中間体^{註2} が生成され、その後ヒドロキシ基が付加する。この中間体は炭素陽イオンに結合するアルキル基が多いほど安定である^{註3}。

- (1) プロペンからアルコールを生成する場合の中間体のうち、より安定な構造式を答えなさい。
- (2) この中間体から生成するアルコールの名称と構造式を答えなさい。

問 3 下線部②の理由を 30 字以内で答えなさい。

問 4 下線部③について、無毒化に最も効果の高いエタノール濃度は水とエタノールを等モルで混合したものとされている。このときのエタノールの質量パーセント濃度を有効数字 2 桁で答えなさい。

問 5 下線部④について以下の問いに答えなさい。

- (1) グリセリンは化学式 $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ の 3 価アルコールである。その構造式を答えなさい。
- (2) 2 つの高級脂肪酸を $\text{R}^1\text{-COOH}$ 及び $\text{R}^2\text{-COOH}$ とし、アルコールを $\text{R}^3\text{-OH}$ として、リン脂質の構造式を答えなさい。なお、リン酸エステル^{註4} はグリセリンの末端の炭素に位置するものとする。

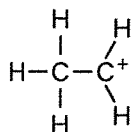
問 6 下線部⑤について、アルコールAからホルムアルデヒドを生成する化学反応式を答えなさい。

問 7 下線部⑥について以下の問いに答えなさい。

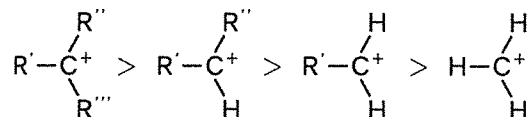
- (1) 物質Bの名称と構造式を答えなさい。
- (2) 物質Bにヨウ素と水酸化ナトリウムを加えたときの化学反応式を答えなさい。
- (3) 物質Bにフェーリング液を反応させたときに生成される赤色沈殿の化学式を答えなさい。また、この赤色沈殿が10 mg 生成されたとき、物質Bは何 mg 反応したことになるか、有効数字2桁で答えなさい。

[注1] エンベロープ：一部のウイルス粒子に見られる膜状構造物で、ウイルス粒子の最も外側に位置する。宿主細胞膜（リン脂質とタンパク質）に由来し、ウイルス性タンパク質を含む。

[注2] 中間体の例



[注3] 中間体の安定性 (Rはアルキル基)



[注4] リン酸エステルの例

