

令和3年度入学試験問題

理 科

注 意 事 項

- 1 この問題冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはならない。
- 2 問題冊子は、全部で55ページある。(落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所などがあつた場合は申し出ること。)

問題冊子の中に下書き用紙が1枚入っている。

物	理	1～12ページ	化	学	13～30ページ
生	物	31～44ページ	地	学	45～55ページ

- 3 解答用紙は、問題冊子とは別になっている。解答は、すべて解答用紙の指定された箇所に記入すること。
- 4 受験番号は、各解答用紙の指定された2箇所に必ず記入すること。
- 5 解答時間は、次のとおりである。
 - (1) 教育学部および工学部の受験者は、90分。
 - (2) 理学部および農学部の受験者は、次のとおりである。
 - ① 理科1科目の受験者は、90分。
 - ② 理科2科目の受験者は、180分。
 - (3) 医学部および歯学部の受験者は、180分。
- 6 問題冊子および下書き用紙は、持ち帰ること。

化 学

注意

必要があれば、原子量は次の値を使うこと。

H = 1.0, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, S = 32.0

I 無機化合物の工業的製法に関する次の文章を読んで、問1～問4に答えよ。

硝酸の工業的製法である (1) 法では、(2) を触媒に用いてアンモニアを酸化し、生成する化合物をさらに酸化してから (3) と反応させて硝酸を製造している。硝酸は、熱や光により分解することから、褐色びんに入れて保存する。アンモニアの工業的製法であるハーバー・ボッシュ法では、鉄を含む化合物を触媒に用いて、窒素と水素を反応させている。窒素は、工業的には、(4) の分留によって得られ、窒素は、カリウムや (5) とならんで (6) の三要素と呼ばれている。(5) は原子番号15の典型元素であり、(5) のオキソ酸は、エタノール製造用の触媒として工業的に用いられている。また水素は、工業的には、(7) を触媒に用いて、メタンと (3) を原料としてつくられている。(7) は、原子番号28の遷移元素であり、二次電池にも用いられている。(6) としても用いられる尿素は、アンモニアと二酸化炭素を反応させてつくられる。

問1 空欄 (1) ~ (7) にあてはまる最も適切な語、物質名または元素名を書け。

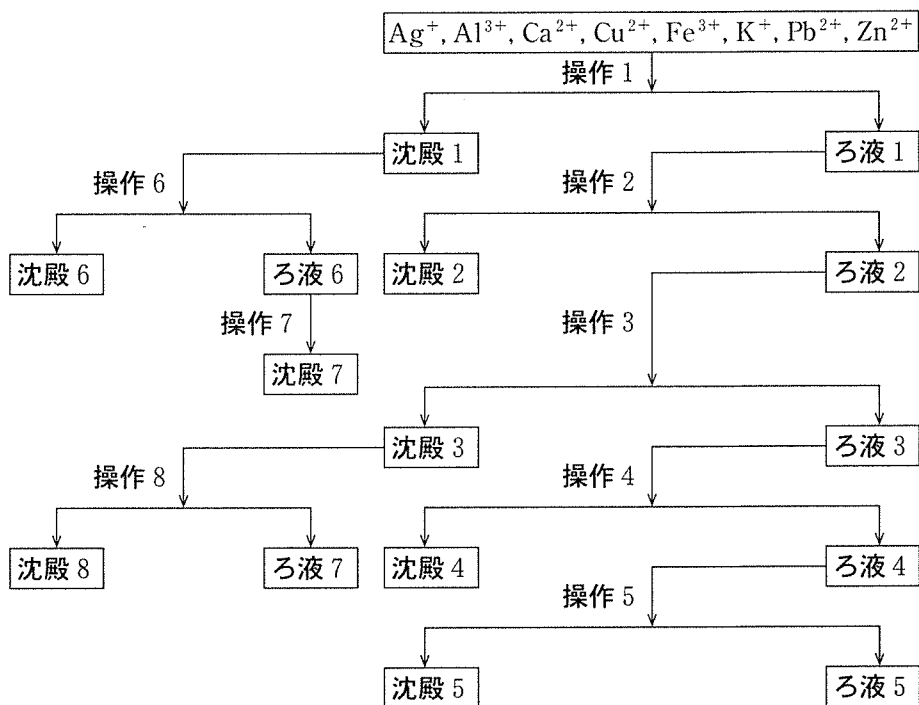
問2 下線部(a)~(d)について、化学反応式を書け。

問3 下線部①について、窒素 x [mol] と水素 y [mol] を容積 V [L] の容器内で反応させたところ、 $2n$ [mol] のアンモニアを生じて平衡状態になった。このときの平衡定数 K [mol⁻²/L⁻²] を表す式を n , V , x , y を用いて書け。導出の過程も示せ。なお、気体はすべて理想気体とする。

問 4 触媒を用いることの工業的利点について、「反応の活性化エネルギー」,
「反応速度」および「生産の効率」の語を用いて説明せよ。

II 次の文章を読んで、問5～問10に答えよ。

下図に示されている8つの金属イオンを含む水溶液に対して以下の操作1～8を行ったところ、沈殿1～8を生じ、それぞれろ液1～7と分離した。また、すべての操作で金属イオンは完全に分離された。



- 操作1 8つの金属イオンを含む水溶液に希塩酸を加えた。
- 操作2 ろ液1に気体の ア を通じた。
- 操作3 ろ液2を加熱して希硝酸を加えた後、アンモニア水を過剰に加えた。
- 操作4 ろ液3に気体の ア を通じた。
- 操作5 ろ液4に炭酸アンモニウム水溶液を加えた。
- 操作6 沈殿1に熱水を加えた。
- 操作7 ろ液6を中性条件とした後、クロム酸イオンを含む水溶液を加えた。
- 操作8 沈殿3に水酸化ナトリウム水溶液を過剰に加えた。

問 5 沈殿 2 は黒色であった。このとき、空欄

(ア)

 にあてはまる物質を化学式で書け。

問 6 沈殿 7 は黄色であった。沈殿 7 の化学式を書け。

問 7 操作 3 で加熱する理由と希硝酸を加える理由をそれぞれ説明せよ。

問 8 ろ液 3 に存在する錯イオンを化学式で書け。また、この錯イオンの構造として適切なものを次の(ア)~(オ)から一つ選び、記号で書け。

- | | | |
|-----------|-----------|---------|
| (ア) 直線形 | (イ) 正方形 | (ウ) 立方体 |
| (エ) 正四面体形 | (オ) 正八面体形 | |

問 9 沈殿 5 に塩酸を加えたところ、沈殿 5 が溶けた。この変化を化学反応式で書け。

問10 ろ液 7 に存在する錯イオンの名称と化学式を書け。

I 次の文章を読んで、問1～問4に答えよ。

私たちは食物に含まれる栄養素を摂取することによって生命を維持している。糖類(炭水化物)、タンパク質、脂質をあわせて三大栄養素という。

多糖の一つであるデンプンは多数のグルコースが脱水縮合した構造をもつ。
 ヒトはデンプンを^(a) [(1)] という酵素によって二糖である [(2)] に加水分解する。
 [(2)] はさらに [(3)] という酵素によって加水分解された後、小腸で吸収される。植物の細胞壁の主成分であるセルロースはデンプンと同じく多数のグルコースが脱水縮合した物質であるが、ヒトはセルロースを消化できない。ウシなどの草食動物は、胃に共生する細菌類が生産する [(4)] という酵素によってセルロースを加水分解して消化できる。

タンパク質はヒトの体を構成する物質のうち17%を占め、 [(5)] が脱水縮合した構造をもつ。
 [(5)] には炭素、水素、酸素以外の元素として [(6)] が含まれる。タンパク質の水溶液に水酸化ナトリウムを加えて加熱すると、^(c)刺激臭のある気体が生じる。この気体に水で湿らせた赤色リトマス紙を近づけると青く変色することから [(6)] が含まれることがわかる。また、システインとメチオニンは炭素、水素、酸素、 [(6)] 以外の元素として [(7)] を含む。

脂質は生物体を構成する物質のうち、水に溶けにくく、有機溶媒に溶けやすい有機化合物の総称で、ヒトの体を構成する物質のうち14%を占める。食品に含まれる脂質は界面活性剤の性質をもつ胆汁酸の [(8)] 作用によって水中に分散し、すい液の [(9)] という酵素によって加水分解されて主に小腸で吸収される。

問1 空欄 [(1)] ～ [(9)] にあてはまる最も適切な語、物質名または元素名を書け。

問 2 下線部(a)および下線部(b)を構成するグルコースの構造式を図 1 の(A)~(D)より選び、記号とその構造式が示す化合物の名称を書け。ただし、化合物の名称はそれぞれのグルコースの立体構造の違いがわかるように書くこと。

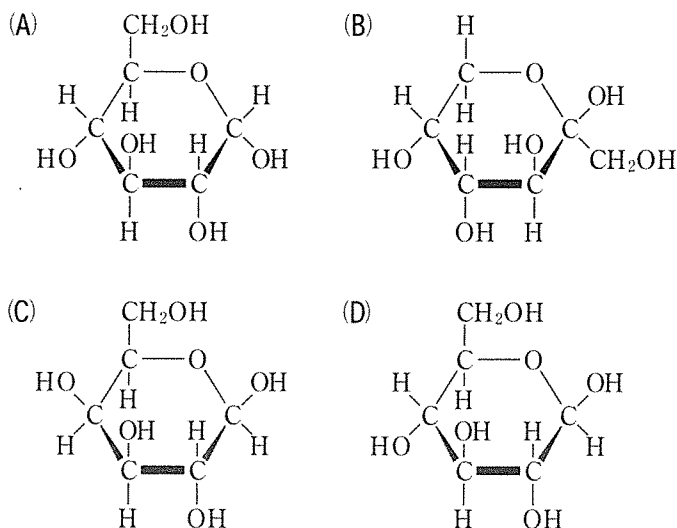


図 1

問 3 下線部(a)を、ある条件で加水分解したところ、グルコース 7 分子が直鎖状に結合した物質 A が生成した。さらに物質 A の両端のグルコースに、ある酵素を作用させると、グルコース 7 分子が環状に結合した物質 B が生成した。この酵素は、一方の末端の 1 位の炭素に結合する —OH と、もう一方の末端の 4 位の炭素に結合した —OH を脱水縮合する。次の(1)と(2)に答えよ。

(1) 物質 A と物質 B の分子量を小数点以下 1 桁まで求めよ。

(2) 物質 A と物質 B を区別できる反応の名称を書け。また、その反応によって区別できる理由を説明せよ。

問 4 下線部(c)で生じた気体に、濃塩酸をつけたガラス棒を近づけると、白煙が生じた。この白煙の物質名を書け。

II 合成高分子化合物に関する次の文章を読んで、問5～問7に答えよ。

ポリスチレンは、スチレンの (10) 重合により合成される鎖状構造を (d) もった高分子化合物である。また、ポリエチレンテレフタレートやナイロン66は、2種類の分子の (11) 重合により合成される共重合体である。

フェノール樹脂は、フェノールと (12) の (13) による生成物を加熱によって硬化させることで得られる。

図2に示したスチレンと *p*-ジビニルベンゼンを単量体として用いた共重合体は、(e) ポリスチレン鎖を連結した網目構造をもつ樹脂となる。この共重合体に酸性または塩基性の置換基を導入した合成樹脂は、(14) 樹脂とよばれ、脱イオン水の生成などに使用される。

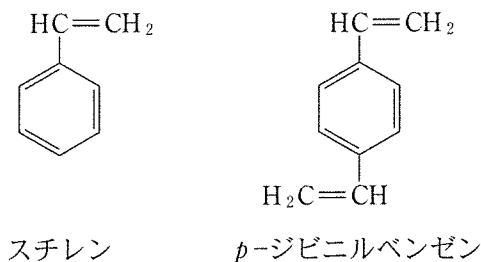


図2

問5 空欄 (10) ~ (14) にあてはまる最も適切な語を次の(a)~(j)から選び、記号で書け。

- | | |
|---------------|--------------|
| (a) 付加 | (b) 付加縮合 |
| (c) 縮合 | (d) 開環 |
| (e) 導電性 | (f) イオン交換 |
| (g) エチレングリコール | (h) ホルムアルデヒド |
| (i) エポキシ | (j) シリコーン |

問 6 下線部(d)について、平均分子量 M のポリスチレンに濃硫酸を反応させると、一部のベンゼン環にスルホ基($-\text{SO}_3\text{H}$)が導入された重合体 C が得られた。重合体 C の元素分析を行ったところ、硫黄の質量は全質量の $x(\%)$ であった。このとき分子量 M のポリスチレンに導入されたスルホ基の数を示す式を、 M および x を用いて書け。導出の過程も示せ。ただし、スルホ基はベンゼン環に 2 個以上導入されないものとする。

問 7 下線部(e)の共重合体に濃硫酸を反応させると、ベンゼン環の一部にスルホ基が導入された共重合体 D が得られた。また、下線部(e)の共重合体にトリメチルアンモニウム基($-\text{N}^+(\text{CH}_3)_3$)を導入し、アルカリで処理すると、ベンゼン環の一部に塩基性置換基($-\text{N}^+(\text{CH}_3)_3\text{OH}^-$)が導入された共重合体 E が得られた。次の(1)と(2)に答えよ。

(1) 共重合体 D および共重合体 E を別々のカラムに入れ、塩化カリウム (KCl) 水溶液を通して、それぞれの流出液 Y_D および Y_E を集めた。流出液 Y_D および Y_E に対して次の操作を行った。ただし、流出液に塩化カリウムは含まれていないものとする。

操作(ア) 流出液を白金線の先につけ、バーナーの炎に入れた。

操作(イ) 流出液にプロモチモールブルー (BTB) 溶液を数滴加えた。

操作(ア)による炎の色、および操作(イ)による溶液の色を、流出液 Y_D および Y_E について、次の(a)~(g)から選び、記号で書け。

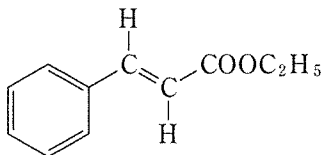
- | | | | |
|--------|--------|----------|-------|
| (a) 赤 | (b) 黄 | (c) 緑 | (d) 青 |
| (e) 赤紫 | (f) 青緑 | (g) 変化なし | |

(2) 共重合体 D をカラムに入れ、ある濃度の塩化銅(Ⅱ) (CuCl_2) 水溶液 V_1 [mL] を通した後、さらに十分な水を流し、すべての流出液を集めた。流出液の全量を濃度 C [mol/L] の水酸化ナトリウム水溶液で滴定したところ V_2 [mL] を要した。塩化銅(Ⅱ) 水溶液の濃度を V_1 , V_2 , C を用いて書け。ただし、流出液に塩化銅(Ⅱ) は含まれていないものとする。

3 は次ページ

3 [注意] 構造式は下の(例)にならって簡略に示せ。

(例)



I 次の文章を読んで、問1～問6に答えよ。

鎖状構造の飽和炭化水素をアルカンという。メタンは最も簡単な構造のアルカンで、正四面体構造をしている。直鎖状のアルカンの沸点は、直鎖の長さが増すにつれて上昇する。^(a)炭素の数が4以上のアルカンには、炭素原子のつながり方の違いによる構造異性体が存在する。

アルカンの水素原子を(1)基で置換した化合物をアルコールという。アルコールの沸点は、分子量が同程度の炭化水素に比べて高い。分子式^(b) C₄H₁₀Oの化合物には、(ア)種類の一価アルコールの構造異性体と、(1)基をもたない構造異性体が(イ)種類存在する。^(c)一価アルコールを酸化すると、(2)基をもつ(3)と、(4)基をもつ(5)がそれぞれ得られる。(3)はさらに酸化され、^(d)(6)基をもつ(7)となる。メタノールを酸化して得られるギ酸は、(2)基と(6)基の構造をもち、(3)と(7)の両方の性質を示す。

問1 空欄(1)～(7)にあてはまる最も適切な語を書け。

問2 空欄(ア)と(イ)にあてはまる数字を書け。

問3 下線部(a)について、アルカンの沸点の上昇は、分子間力が影響している。アルカンに働く分子間力の名称を書け。

問 4 下線部(b)について、アルコールの沸点が高い原因となる分子間力の名称を書け。

問 5 下線部(c)について、分子式 $C_4H_{10}O$ の構造異性体のうち、酸化されにくい一価アルコールの構造式をすべて書け。

問 6 下線部(d)について、分子式 $C_4H_{10}O$ の一価アルコールを酸化して得られる

(7)

 の構造式をすべて書け。

II 化合物 A~F に関する次の記述(1)~(8)を読んで、問 7~問 11 に答えよ。

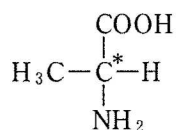
- (1) A は炭素、水素、酸素からなる化合物で、不斉炭素原子をもつ。
- (2) 44.3 mg の A を完全に燃焼させると、47.7 mg の水と 125.4 mg の二酸化炭素が生成した。A の分子量を測定すると 886 であった。
- (3) 0.1 mol の A を水酸化ナトリウム水溶液に加えて加熱すると、0.1 mol の B, 0.1 mol の C, および 0.2 mol の D が得られた。このアルカリ性水溶液に希硫酸を加えて酸性にすると、0.1 mol の B, 0.1 mol の E, および 0.2 mol の F が得られた。
- (4) 0.2 mol の B に対して単体のナトリウムを作用させると、0.3 mol の水素が発生した。
- (5) B, E および F は不斉炭素原子をもたない。
- (6) E と F は環状構造をもたず、それぞれに含まれる炭素原子の数は 18 である。
- (7) B は二重結合、三重結合および環状構造をもたない。
- (8) B は、1 つの炭素原子に 2 つの酸素原子が結合した構造(O—C—O)をもたない。

問 7 記述(1)および(2)より、A の分子式を求めよ。計算の過程も示せ。

問 8 B として最も適切な化合物の構造式を書け。

問 9 A が不斉炭素原子をもつために必要な条件を記せ。必要であれば図を書いて良い。図を書く場合は、下の(例)にならって不斉炭素原子には*印をつけよ。

(例)

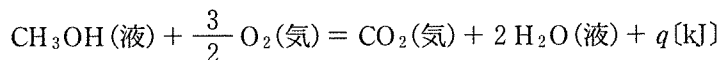


問10 EおよびFに適切な分子の組み合わせが2組ある。この2組のEとFの分子式を書け。

問11 問10で答えた2組のEとFのうち、どちらであるかを決定したい。どのような実験を行なって決定したら良いか、その実験と、得られた結果からどのように判断するかを記述せよ。ただし、組成式と分子量が決定できる実験は除外する。

4 次の文章を読んで、問1～問5に答えよ。

メタノールの完全燃焼における燃焼熱 q は、次の熱化学方程式で表される。
(a)



また、炭素数が n の直鎖状アルコール ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{n-1}\text{OH}$) を完全燃焼させたときの燃焼熱 Q [kJ/mol] は、 n と $Q = An + B$ の関係がある。 Q はすべての反応物とすべての生成物が気体であるときの燃焼熱であり、 A と B は結合エネルギーで表すことができる定数である。
(b)

2個の炭素原子の間で形成される共有結合の結合エネルギーは、共有電子対の数が増加すると増加する。一方、共有結合を形成する炭素原子の間の結合距離は、共有電子対の数が増加すると減少する。共有電子対の数と共に変化する結合エネルギーや結合距離は、炭素原子の間の共有結合の性質を反映している。
(c) (d) (e)

問1 下線部(a)は、表1の生成熱 x_1 [kJ/mol] ~ x_6 [kJ/mol] を用いると、式①のように書ける。式①の空欄 (1) ~ (6) にあてはまる数値を書け。また、導出の過程も示せ。なお、空欄にあてはまる数値が、負の値の場合は符号をつけた数値を書き、0や1の場合は省略せずに該当する数値を書け。

表1

CH ₄ (気)	CH ₃ OH(気)	CH ₃ OH(液)	CO ₂ (気)	CO ₂ (固)	H ₂ O(液)
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6

$$q = \text{(1)} x_1 + \text{(2)} x_2 + \text{(3)} x_3 + \text{(4)} x_4 + \text{(5)} x_5 + \text{(6)} x_6 \quad \text{①}$$

問 2 下線部(b)は、表 2 の結合エネルギー $y_{O=O}$ [kJ/mol] ~ y_{C-C} [kJ/mol] を用いると、式②と式③のように書ける。式②と式③の空欄 (7) ~ (18) にあてはまる数値を書け。また、導出の過程も示せ。なお、空欄にあてはまる数値が、負の値の場合は符号をつけた数値を書き、0 や 1 の場合は省略せずに該当する数値を書け。

表 2

O=O	O—H	C—H	C=O	C—O	C—C
$y_{O=O}$	y_{O-H}	y_{C-H}	$y_{C=O}$	y_{C-O}	y_{C-C}

$$A = \boxed{(7)} y_{O=O} + \boxed{(8)} y_{O-H} + \boxed{(9)} y_{C-H} + \boxed{(10)} y_{C=O} + \boxed{(11)} y_{C-O} + \boxed{(12)} y_{C-C} \quad \text{②}$$

$$B = \boxed{(13)} y_{O=O} + \boxed{(14)} y_{O-H} + \boxed{(15)} y_{C-H} + \boxed{(16)} y_{C=O} + \boxed{(17)} y_{C-O} + \boxed{(18)} y_{C-C} \quad \text{③}$$

問 3 下線部(c)の理由として、次の(1)と(2)の各文の内容が、誤りを含まない場合は○を書き、誤りを含む場合は×を書け。

- (1) 炭素原子は 4 個の価電子をもち、フッ素原子よりも陰イオンになりにくく、ネオン原子よりも陰イオンになりやすいから。
- (2) 共有電子対の数が増えると、共有電子対と原子核のおよぼし合う静電気力の影響が、化学エネルギーを低下させるから。

問 4 下線部(d)の理由として、次の(1)と(2)の各文の内容が、誤りを含まない場合は○を書き、誤りを含む場合は×を書け。

- (1) 共有電子対の数が増えると、共有電子対と原子核の間にはたらく静電気が、強くなるから。
- (2) 共有電子対の数が増えると、共有電子対の間に静電気がはたらくから。

問 5 下線部(e)の説明として、次の(1)の文と(2)の文章それぞれの内容が、誤りを含まない場合は○を書き、誤りを含む場合は×を書け。

- (1) 電気陰性度が等しい原子の間の共有結合において、共有電子対はどちらかの原子にかたよることなく均等に共有される。
- (2) 原子核と原子核の間の距離に比べて、共有電子対と原子核の間の距離は近い。距離が違うため、共有電子対と原子核の間にはたらく静電気が原子核の間の静電気力よりも強くなる。そのため、2個の原子は結合する。

下書き用紙 (自由に使用してよい。持ち帰ること。)

