

北海道大学

一般 前期

H—23 ㊤

理 科

15：00～17：00

解 答 上 の 注 意

1. 試験開始の合図があるまで、この問題紙を開いてはならない。
2. 問題紙は40ページある。このうち、「物理」は2～7ページ、「化学」は8～18ページ、「生物」は19～33ページ、「地学」は34～40ページである。
3. 「物理」、「化学」、「生物」、「地学」のうちから、あらかじめ届け出た2科目について解答せよ。各学部・系・群・専攻の必須科目(㊤印)と選択科目(○印)は下表のとおりである。

学部・系・群・専攻 科目	総合入試					学部別入試									
	理系					医学部					歯学部	獣医学部	水産学部		
	数学重点選抜群	物理重点選抜群	化学重点選抜群	生物重点選抜群	総合科学選抜群	医学系	保健学系								
							看護学専攻	放射線技術科学攻	専攻検査技術科学攻	理学療法学専攻				作業療法学専攻	
物理	○	◎	○	○	○	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	
化学	○	○	◎	○	○	○	○	○	◎	○	○	○	○	○	
生物	○	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
地学	○	○	○	○	○									○	

4. 受験する科目のすべての解答用紙には、受験番号および座席番号(上下2箇所)を、監督員の指示に従って、指定された箇所に必ず記入せよ。
5. 解答はすべて解答用紙の指定された欄に記入せよ。
なお、選択問題がある科目については、問題文の指示に従うこと。
6. 必要以外のことを解答用紙に書いてはならない。
7. 問題紙の余白は下書きに使用してもさしつかえない。
8. 下書き用紙は回収しない。

化 学

解答はすべて各問題の指示にしたがって解答用紙の該当欄に記入せよ。必要があれば、次の数値を用いよ。

原子量：H = 1.0, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, S = 32.1

Br = 79.9

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

1

I, II に答えよ。

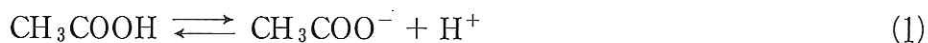
I 酢酸を溶質とする溶液の凝固点降下に関する文章 A, B を読み、問 1 ～ 問 5 に答えよ。

文章 A

40.0 g のベンゼンに 0.680 g の酢酸を加えた溶液の凝固点降下度は 0.730 K であった。ベンゼンのモル凝固点降下 $5.12 \text{ K} \cdot \text{kg} / \text{mol}$ から、この溶液中の溶質の物質量は (a) [mol] と求められる。酢酸の分子量は 60.0 なので、ベンゼン中で酢酸分子は水素結合を形成していると考えられる。
(i)

文章 B

1.00 kg の純水に 0.0600 g の酢酸を加えた溶液の凝固点降下度は $2.05 \times 10^{-3} \text{ K}$ であった。水のモル凝固点降下は $1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} / \text{mol}$ であるので、この凝固点降下度から算出される溶質の分子量は酢酸の分子量よりも小さい。これは水中で酢酸が式(1)のように一部電離しているためと考えられる。



ここで、加えた酢酸の物質量を m [mol] とし、溶液中で電離している酢酸の割合を α とすると、溶液中に存在する化学種、 CH_3COOH , CH_3COO^- , H^+ の物質量の合計は、(b) [mol] になる。測定された凝固点降下度の値を使って α を求めると、(c) となる。加える酢酸を 0.120 g にすると α は (d) 倍になる。

問 1 (a) にあてはまる値を有効数字 2 桁で答えよ。

問 2 下線部(i)について、酢酸の構造式を用いて水素結合の様子を図示せよ。
ただし、共有結合は実線、水素結合は点線で表すこと。

問 3 (b) にあてはまる、 α と m を用いた適切な数式を入れよ。

問 4 (c) にあてはまる値を有効数字 2 桁で答えよ。

問 5 (d) にあてはまる最も適切な値を下の(あ)～(か)から選び、記号で答えよ。ただし、 α は 1 に比べて十分に小さく、近似計算ができるものとせよ。

(あ) 2

(い) $\sqrt{2}$

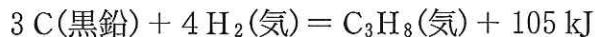
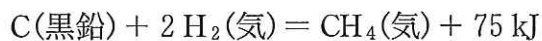
(う) $\log_{10} 2$

(え) $\frac{1}{2}$

(お) $\frac{1}{\sqrt{2}}$

(か) $\frac{1}{\log_{10} 2}$

II 以下の熱化学方程式を用いて問 1, 問 2 に答えよ。



問 1 共有結合を切断するのに要するエネルギーをその共有結合の結合エネルギーという。

(i) メタン中の 1 つの C-H 結合の結合エネルギー [kJ/mol] を求めよ。

(ii) プロパン中の 1 つの C-C 結合の結合エネルギー [kJ/mol] を求めよ。

ただし、プロパン中のいずれの C-H 結合もメタン中の C-H 結合と等しい結合エネルギーをもつものとする。

問 2 鎖状飽和炭化水素 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ の生成の熱化学方程式は、次の式で表される。



(i) $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ に含まれる C-H 結合と C-C 結合の数のそれぞれを、 n を用いて表せ。

(ii) $Q = 90 \text{ kJ}$ であるとき n はいくつか。ここで、 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ 中のいずれの C-H 結合もメタン中の C-H 結合と等しい結合エネルギーをもち、また、いずれの C-C 結合もプロパン中の C-C 結合と等しい結合エネルギーをもつものとする。

2

I, IIに答えよ。

I 以下の元素(a)～(f)の説明文を読み、問1～問6に答えよ。

元素(a)：英語名の語源はギリシャ語の「色」であり、その化合物は様々な色を呈する。酸化数+3のイオンを含む水溶液は (ア) 色である。一方、酸化数+6の状態の元素を含むオキソ酸の塩の水溶液は塩基性のときには黄色だが、酸性にすると赤橙色になる。この赤橙色の溶液は強い酸化作用を示す。
(1)

元素(b)：英語名は pot(つば)と ash(灰)の合成語であり、この元素を多く含む草木灰をつばに蓄えて、肥料に用いたことに由来する。炎色反応は赤紫色で、炭酸塩や水酸化物の固体粉末は (イ) 色である。この水酸化物には潮解性があり、その水溶液は電池の電解質として利用される。

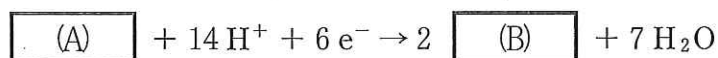
元素(c)：単体は、熱や電気をよく通す比較的柔らかい金属で、貨幣や装飾品などに使用される。常温でも硫化水素と反応して黒く変色する。この金属は塩酸には溶けないが、硝酸には溶ける。この金属の硝酸塩は、還元性を示す有機化合物やハロゲン化物イオンの検出にも使用される。
(2)

元素(d)：単体は金属であり、常温の水とはほとんど反応しないが熱水とは反応する。また空気中では表面が徐々に酸化され光沢を失う。この金属は空気中で強い光を出して燃えるので、花火の材料として使用され、昔は写真を撮影するときに使用された。またこの金属の酸化物は融点が高く、耐火レンガ・るつばなどの原料に使用される。
(3)

元素(e)：単体は主に北アメリカで産出する天然ガスから分離される。18族の元素の一つで、沸点が極めて低く、極低温の冷媒として使用されている。また不燃性で (ウ) の単体に次いで軽いため、気球や飛行船などにも用いられる。

元素(f)：単体は柔らかく加工しやすいため、古代から人類が利用してきた。蓄電池の電極、管や板等にも用いられている。また 元素(h) との合金は、はんだとして利用されていたが、毒性のために最近では元素(f)の利用が避けられている。なお、この元素は 元素(h) と同様に+2と+4の酸化数の化合物を作る。

問 1 下線部(1)に関連する次の反応の (A) と (B) のそれぞれに1つずつ化学式を入れて、反応式を完成させよ。



問 2 元素(b)～(h)をそれぞれ元素記号で記せ。

問 3 上記文中の(ア)と(イ)にあてはまる語句を下の(あ)～(か)からそれぞれ1つ選んで、記号で記せ。

- | | | |
|-------|-------|-------|
| (あ) 赤 | (い) 黄 | (う) 白 |
| (え) 黒 | (お) 青 | (か) 緑 |

問 4 下線部(2)の化学反応で生じる黒色の生成物の化学式を記せ。

問 5 下線部(3)の化学反応式を記せ。

問 6 元素(f)の単体および化合物に関する次の記述(あ)～(え)の内から誤りを含むものをすべて選んで、記号で記せ。

- (あ) 元素(f)の単体は、X線の遮へい材として用いられている。
- (い) 元素(f)の硫酸塩は、水には溶けにくい白色の化合物である。
- (う) 元素(f)の酸化物は、蓄電池の正極に用いられている。
- (え) 元素(f)の硝酸塩は、水に溶けにくい。

Ⅱ 次の文章を読み、問1～問5に答えよ。

一般に化学反応では、高いエネルギーをもった分子同士が衝突し、ある一定のエネルギーの高い状態が形成される。この状態のエネルギーと反応物のエネルギーとの差を (a) エネルギーという。加熱すると、分子の熱運動がはげしくなり、高いエネルギーを持つ分子の数が増加するため分子間の衝突により (a) 状態になる分子の数が増え、結果として化学反応が速く進行する。

密閉された高温の容器内において、気体のヨウ素と水素を反応させると気体のヨウ化水素が生成する。また、ヨウ化水素を密閉容器内で加熱すると、一部が分解して水素とヨウ素になる反応も進行する。このようにどちらの向きにも起こる反応を (b) 反応といい、水素、ヨウ素、ヨウ化水素がある一定の割合で存在する平衡状態に達すると、ヨウ化水素の生成速度と分解速度が等しいことから、反応が停止したように見える。

一方、触媒存在下において同様の化学反応を行うと、 (a) エネルギーが小さくなるため、化学反応が速く進行する。これは、触媒のない状態とは異なった反応経路を経て生成物が生成されるためである。また、触媒がある場合とない場合では反応物と生成物のエネルギーの差である (c) の大きさは変化しない。工業的に硝酸を製造するオストワルト法では、アンモニアを酸化して一酸化窒素を製造するときに、 (d) が触媒として使われている。

問1 文中の空欄 (a) ～ (d) にあてはまる適切な語句を記せ。

問2 次の記述(あ)～(お)の中から正しいものをすべて選んで、記号で記せ。

- (あ) 工業的な硫酸の製造に用いられる触媒には、酸化バナジウム(V)が含まれている。
- (い) 溶液中の化学反応の速度は、反応物の濃度に依存することはない。
- (う) 発酵では酵素が触媒としてはたらいっている。
- (え) 過酸化水素の分解などに用いられる酸化マンガン(IV)は均一系触媒の1つである。
- (お) 触媒は、反応前後にそれ自身は変化しない。

問 3 オストワルト法において、アンモニアを酸化して一酸化窒素を製造するときの反応式を記せ。

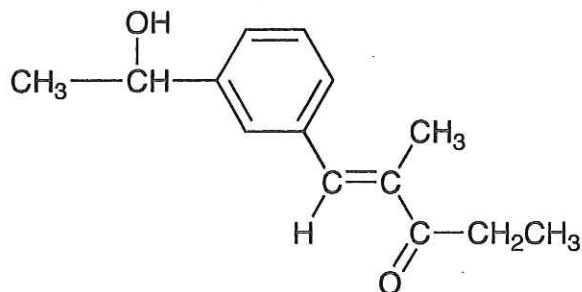
問 4 水素とヨウ素からヨウ化水素が生成する反応を、内容積 1.0 L の容器を用い、圧力と温度をそれぞれ 100 kPa, 610 K に保って行った。水素とヨウ素の分圧は、反応開始時にはいずれも 50 kPa であったが、ある時間経過した後にはいずれも 10 kPa の一定値であった。生成したヨウ化水素の物質質量 [mol] を有効数字 2 桁で求めよ。

問 5 問 4 における反応の平衡定数 (K) を有効数字 2 桁で求めよ。また、本実験系において圧力、濃度または温度を変化させた場合、平衡定数が変化すると考えられる場合は○、変化しないと考えられる場合は×と記せ。

3

I, IIに答えよ。なお、構造式は記入例にならって記せ。

(記入例)



I 次の文章を読み、問1～問3に答えよ。

次の説明1～5に記す化学的性質を有する化合物A、BおよびCはいずれも分子式が C_4H_8O で表される。化合物Aは環状の構造を有する化合物(環式化合物)であり、化合物BとCは鎖式化合物であることがわかっている。

(説明1) 化合物AとBのそれぞれにナトリウムの単体を加えたところいずれも水素が発生したが、化合物Cにナトリウムを加えても水素の発生は認められなかった。

(説明2) 化合物Aは不斉炭素原子を持たない。また、酸化剤と反応し環状の構造を有するケトンを与えた。

(説明3) 化合物Bは二重結合を有するが、二重結合を形成する炭素原子に酸素原子は結合していない。また、不斉炭素原子を持たない。化合物Bに臭素を反応させると付加反応が進行し、不斉炭素原子を2つ有し分子式が $C_4H_8Br_2O$ で表される化合物Dを与えた。

(説明4) 化合物Cは銀鏡反応に陽性を示した。

(説明5) 化合物Bを白金触媒を用いて水素と反応させて得られた化合物を、希硫酸水溶液中で二クロム酸カリウムと反応させたところ化合物Cが得られた。

問 1 一般にナトリウム単体と反応して水素を発生する環式化合物のうち、分子式が C_4H_8O で表される化合物は何種類あるか答えよ。ただし、立体異性体は互いに区別しないものとする。

問 2 化合物 A, B および C の構造式を記せ。立体異性体が存在する場合はいずれか 1 つの異性体のみを記せ。

問 3 化合物 A と B をある割合で混合し、これを過剰量の無水酢酸と反応さ
(1)せたところ、化合物 E と F の混合物 342 g が得られた。また同時に 180 g
の酢酸が生成した。この E と F の混合物 342 g を過剰量の臭素と反応させたところ、二重結合に対する付加反応のみが進行した。反応しなかった臭素を取り除いて残った混合物の質量は 742 g であった。下線部(1)の混合物中に含まれている化合物 A と B の質量を、それぞれ有効数字 3 桁で記せ。なお、無水酢酸や臭素との反応は完全に進行したものとする。

Ⅱ 次の文章を読み、問1～問4に答えよ。

α -アミノ酸は、分子中にアミノ基-NH₂およびカルボキシル基-COOHの2種類の官能基を持ち、これらが同一炭素原子に結合している。テトラペプチドAは、表1に示した α -アミノ酸のうちの互いに異なる4つが直鎖状に縮合したものである。Aに水酸化ナトリウム水溶液を加えて塩基性にした後、硫酸銅(Ⅱ)の水溶液を少量加えると赤紫色を示した。⁽¹⁾またAを部分的に加水分解したところ、3種類のジペプチドB、CおよびDが得られた。BとCのそれぞれの水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱し、酢酸で中和した後、酢酸鉛(Ⅱ)の水溶液を加えると、いずれも硫黄の存在を示す黒色沈殿が生じた。CとDのそれぞれに、濃硝酸を加えて熱した後、アンモニア水を加えて塩基性⁽²⁾にすると、いずれも橙黄色を示した。Dを加水分解したところ、不斉炭素原子を持たないアミノ酸が含まれていることがわかった。さらにAを完全に加水分解したところ、アミノ基-NH₂を2個もつ塩基性アミノ酸が含まれていることがわかった。

表1

名 称	略記号	分子量
グリシン	Gly	75
アラニン	Ala	89
システイン	Cys	121
リシン	Lys	146
グルタミン酸	Glu	147
フェニルアラニン	Phe	165

問1 アラニンの構造異性体のうち、アミノ基-NH₂およびカルボキシル基-COOHの2種類の官能基を持ち、不斉炭素原子を持たない化合物の構造式を記せ。

問2 下線部(1)、(2)にあてはまる呈色反応の名称を記せ。

問 3 テトラペプチド A の分子量を有効数字 3 桁で記せ。ただし、アミノ酸の分子量は表 1 の数値を用いること。

問 4 テトラペプチド A に含まれるアミノ酸は、どのような順序で結合していると考えられるか。適切なものを次の(あ)～(こ)から 1 つ選べ。

- | | |
|---------------------|---------------------|
| (あ) Phe-Gly-Cys-Glu | (い) Phe-Cys-Gly-Lys |
| (う) Ala-Cys-Phe-Lys | (え) Ala-Cys-Glu-Gly |
| (お) Gly-Cys-Phe-Lys | (か) Gly-Phe-Cys-Lys |
| (き) Lys-Ala-Cys-Gly | (く) Lys-Phe-Cys-Glu |
| (け) Glu-Cys-Phe-Gly | (こ) Ala-Phe-Cys-Gly |