

2020 年度入学試験問題

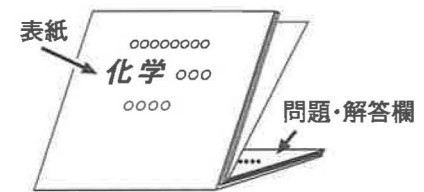
化 学 401

(前 期 日 程)

表紙も問題用紙・解答用紙も
すべて表面のみに印刷している。

(注意事項)

- 1 問題用紙・解答用紙は、係員の指示があるまで開かないこと。
- 2 この表紙を除いて、問題用紙は 5 枚(その 1～5)、解答用紙は 4 枚(その 1～4)である。用紙の折り方は右図のようになっているので注意すること。
- 3 計算が必要な場合は、表紙、問題用紙、解答用紙の裏面を利用すること。
- 4 解答は、解答用紙の指定された箇所を書くこと。指定された箇所以外に書いたものは採点しない。
- 5 解答開始後、各解答用紙の「受験番号」欄に受験番号をはっきりと記入すること。
- 6 配布した用紙はすべて回収する。



化学 401 問題用紙 (その1)

(注意) 第1問から第4問の解答にあたっては、以下の注意事項に従うこと。

1. 数値は特に指示のない限り有効数字3桁として表すこと。
2. 有機化合物の構造式は特に指示のない限り図1に示す例にならって表すこと。
3. 原子量は次の値を用いること。H: 1.00, C: 12.0, N: 14.0, O: 16.0
4. 気体定数は $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{mol} \cdot \text{K}) = 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L} / (\text{mol} \cdot \text{K})$ とする。

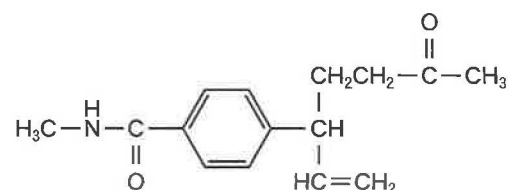


図1 構造式の例

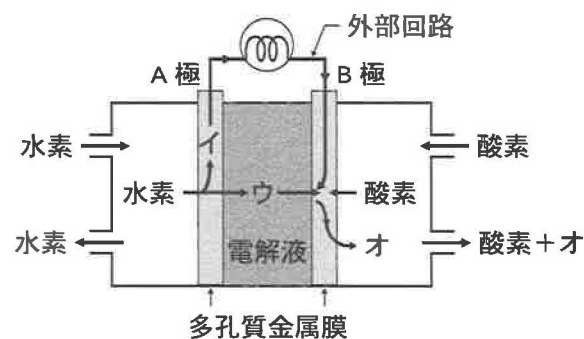
第1問 次の文章を読み、下の問い(問1～9)に答えよ。

人類は熱エネルギーや電気エネルギーを用い、身近にある物質を原料にしてさまざまな材料を作り出してきた。たとえば、化学産業に不可欠な水素は天然ガス(a)の水蒸気改質により製造されている。この水素と空気中の窒素からハーバー・ボッシュ法(ハーバー法)(b)によりアンモニアが合成される。合成されたアンモニアは、オストワルト法により硝酸(c)に変換される。また、アンモニアは、海水中の塩化ナトリウムからアンモニアソーダ法(ソルバー法)により炭酸水素ナトリウムを経て炭酸ナトリウムを製造する際にも使用される。炭酸ナトリウムは、二酸化ケイ素(d)を主原料としたソーダ石灰ガラスの製造に用いられる。海水中の塩化ナトリウムからは、電気分解により水酸化ナトリウムを合成することもできる。(e)

問1 下線部(a)において、その代表的な反応は、メタンと水蒸気から水素と一酸化炭素が生成する反応である。この反応の化学反応式を記せ。

問2 下線部(a)の反応で生成する水素は、家庭用あるいは業務用の燃料電池の燃料としても使用される。燃料電池に関する以下の文章の **ア** と **エ** に当てはまる適切なイオン反応式を、 **イ** , **ウ** , **オ** に当てはまる適切な語句を、 **カ** に当てはまる適切な数値をそれぞれ答えよ。ただし、ファラデー定数を $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ とする。

右図で表される燃料電池では、リン酸水溶液を電解液、触媒作用をもつ多孔質金属膜を電極として用いている。A極側に水素をB極側に酸素をそれぞれ供給すると、A極側では **ア** で表される反応が起こり、ここで生じた **イ** が外部回路を、同じく生じた **ウ** が電解液中をB極側へと移動する。B極側ではそれぞれ移動してきた **イ** と **ウ** などにより **エ** で表される反応が起こり、**オ** が生成物として外部に放出される。いま、**オ** が18.0 g 生成したとすると、外部回路を流れた電気量は **カ** Cである。



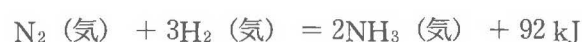
問3 下線部(b)に関連して、窒素は標準状態(0℃, 1.0 atm (1気圧, $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$))において水1.0 Lに24 mL 溶ける。圧力が10 atmの空気(窒素:酸素 = 4:1 (体積比))とし、他の成分の量は無視できるものとする)が0℃の水1.0 Lと接している時、平衡状態において水に溶けている窒素の質量 [g] を有効数字2桁で求めよ。

(その2に続く)

化 学 401 問題用紙 (その2)

(その1より続く)

問4 下線部(c)において, その熱化学方程式は次のように表される。



水素分子の $\text{H}-\text{H}$ 結合の結合エネルギーを 436 kJ/mol , 窒素分子の $\text{N} \equiv \text{N}$ 結合の結合エネルギーを 945 kJ/mol とした時, アンモニア分子中の $\text{N}-\text{H}$ 結合の結合エネルギー $[\text{kJ/mol}]$ を求めよ。

問5 下線部(c)に関連して, アンモニアは弱塩基で, 水溶液中では次のような電離平衡が成立している。

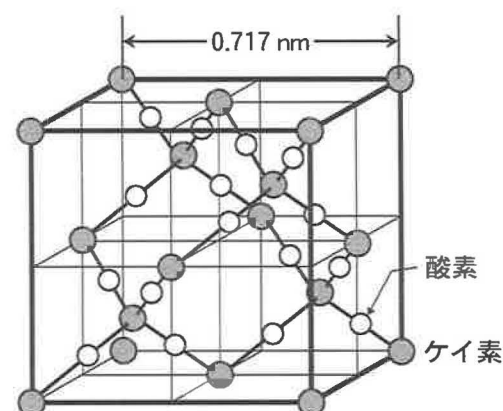


濃度 0.23 mol/L のアンモニア水の 25°C における pH を小数点以下第1位まで求めよ。ただし, 25°C における NH_3 の電離定数を $K_b = 2.3 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$, 水のイオン積を $K_w = 1.00 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$, $\sqrt{2.3} = 1.5$, $\log_{10} 1.5 = 0.18$, $\log_{10} 2.3 = 0.36$ とする。

問6 下線部(d)に関連して, 製造した硝酸を水で薄めて希硝酸とし, その中に銅片を入れると無色の気体が生じた。このときに起こった反応の化学反応式を記せ。

問7 下線部(e)に関連して, 炭酸水素ナトリウムの水溶液は弱い塩基性を示す。この理由を炭酸水素ナトリウムが水に溶解するときに起きる反応のイオン反応式をもとに説明せよ。

問8 下線部(f)に関連して, 二酸化ケイ素は, 高温において, 右図に示すようなクリストバライト構造と呼ばれる結晶構造を取り, その単位格子は一辺が 0.717 nm の立方体である。ケイ素原子のみに着目すると, ケイ素原子はダイヤモンド中の炭素原子と同じ配置をとっており, 1個のケイ素原子を中心に4個のケイ素原子が正四面体の頂点の位置に存在する。そのケイ素原子-ケイ素原子間距離を二等分する位置に酸素原子が入り込んで両者を結合している。このクリストバライトにおけるケイ素原子と酸素原子の結合距離 $[\text{nm}]$ を求めよ。ただし, $\sqrt{2} = 1.41$, $\sqrt{3} = 1.73$ とする。



問9 下線部(g)については, 通常, 陽イオン交換膜で隔てられた陽極側に塩化ナトリウム水溶液を入れ, 陰極側に純水を入れ, 電気分解を行う。このとき, 陽極で発生する気体の化学式を記せ。

化学 401 問題用紙 (その3)

第2問 次の文章を読み、下の問い(問1～6)に答えよ。

アとは、鎖式飽和炭化水素の総称である。直鎖状の**ア**の同族体を比較すると、炭素数が多くなるほど分子間力が大きくなるため、沸点が高くなる。構造異性体とは、同じ分子式で表される化合物で、構造式が異なるために生じる異性体のことである。直鎖状の**ア**は、その構造異性体よりも沸点が**イ**い。

IUPAC(国際純正および応用化学連合)では、化合物の名称と化学式が対応するように化合物の命名法の規則を定めている。 C_5H_{12} と C_7H_{16} で表される直鎖状の**ア**は、それぞれペンタンと**ウ**とよばれる。 C_5H_{12} の構造異性体は3個、 C_7H_{16} の構造異性体は**a**個存在する。

(a) いま、 CaC_2 に水を作用させると、**エ**が発生した^{※1}。発生した**エ**を水上捕集した。反応後の水溶液は橙赤色の炎色反応を示し、フェノールフタレイン溶液を赤色に呈色させた。**エ**を赤熱したFeに触れさせると、**オ**が生じた。一方、**エ**にPtを触媒として水素を作用させると、**エ**から**カ**^{※2}を経て飽和炭化水素の**キ**へと、段階的に反応が進行した。

※1 **エ**は気体であり、この反応で発生した気体は**エ**のみである。

※2 化合物**カ**は、果実の熟成を促進する無色の気体で、その炭素-炭素原子間の距離は0.134 nmである。

問1 文章中の**ア**～**キ**に入る適切な語句を答えよ。ただし**ウ**、**エ**、**オ**、**カ**、**キ**には化合物名を記せ。

問2 文章中の**a**に入る適切な数字を答えよ。

問3 下線部(a)について、これらの異性体のうち不斉炭素をもつ化合物すべての構造式を、それぞれの化合物名とともに記せ。ただし、立体異性体を区別する必要はない。

問4 下線部(b)の反応の化学反応式を記せ。

問5 下線部(c)の実験では、 $27^\circ C$ 、 $9.80 \times 10^4 Pa$ で249 mLの**エ**が得られた。得られた**エ**の質量は何gか。
有効数字2桁で答えよ。ただし、 $27^\circ C$ における水の蒸気圧を $0.40 \times 10^4 Pa$ とする。

問6 化合物**エ**、**オ**、**カ**、**キ**について、炭素-炭素原子間の距離が短い順に記号で答えよ。

化 学 401 問題用紙 (その4)

第3問 次の文章を読み、下の問い(問1～6)に答えよ。

炭素、水素、酸素からなる化合物 A、B および C がある。A および B の分子量はともに 146 で、両者は構造異性体の関係にある。A を加水分解すると、化合物 D と E が 2 : 1 の比(物質量の比)で得られる。*p*-キシレンを酸化して得られる化合物 F を E と縮合重合させると、飲料容器の原料として使用されるポリマー G が得られる。B と 2 価アミンである H を縮合重合すると、世界初の合成繊維であるポリマー I が得られる。

分子量が 86 である C を付加重合させると、ポリマー J が得られる。NaOH を用いて J をけん化すると、ポリマー K とともに D のナトリウム塩が多量に得られる。さらに、K をホルムアルデヒドで処理すると、国産初の合成繊維であるビニロンが得られる。

問1 化合物 A、B および C の構造式を記せ。

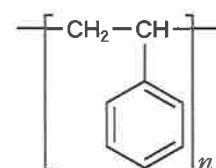
問2 ポリマー G の構造式を右の例にならって記せ。また、繰り返し単位の式量を求めよ。

問3 平均分子量が 3.84×10^4 であるポリマー G の重合度を求めよ。

問4 ポリマー I の構造式を右の例にならって記せ。

問5 ポリマー I が絹の代替品として使用できるほどの強度を示す理由を説明せよ。

問6 ポリマー K を付加重合で直接合成することはできない。その理由を説明せよ。



ポリマーの構造式の例

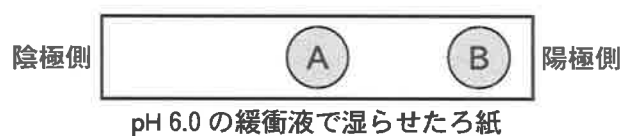
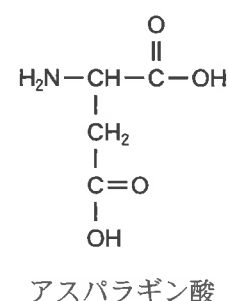
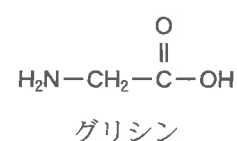
化 学 401 問題用紙（その5）

第4問 次の文章を読み、下の問い（問1～4）に答えよ。

構造が不明のトリペプチドがあり、水に溶かすと弱酸性を示した。このトリペプチドを完全に加水分解し、その試料の3分の1をpH 6.0の緩衝液で湿らせたろ紙の中央につけて電気泳動を行った後、ろ紙に

ア 溶液を吹き付けて加温すると下図のようにAとBの位置に2つの赤紫色のスポットが現れた。

残りの3分の2の試料を同様に電気泳動で2種類のアミノ酸に分離した。それぞれ分離したアミノ酸の半分を用いて分析した結果、アミノ酸はグリシンとアスパラギン酸であった。残りの半分のグリシンとアスパラギン酸を、それぞれ無水酢酸と反応させた。無水酢酸はアミノ基のみと反応してアミドとなった。アミドになったアミノ酸をそれぞれ水に溶解し、フェノールフタレイン溶液1滴を加え、0.100 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液で滴定した。その結果、いずれの水溶液においても、10.10 mLの滴下量で無色から薄い赤色に変色した。



問1 問題文中の **ア** に入る適切な語句を答えよ。

問2 下線部(b)のAとBの位置に存在するアミノ酸について、pH 6.0において最も多く存在するイオンの構造式をそれぞれ記せ。

問3 下線部(a)のトリペプチドの、予想される構造式をすべて記せ。

問4 下線部(a)のトリペプチドの質量〔g〕を計算せよ。計算の根拠も示すこと。

化 学 401 解答用紙（その1）

第1問

問1				
問2	ア			
	イ		ウ	
	エ			
	オ		カ	_____C
問3	_____g			
問4	_____kJ/mol			
問5				
問6				
問7	イオン反応式			
	理由			
問8	_____nm			
問9				

化 学 401 解答用紙（その2）

第2問

問1	ア		イ		ウ	
	エ		オ		カ	
	キ					
問2						
問3						
問4						
問5						
問6	< < <					

化 学 401 解答用紙（その3）

第3問

問 1	A			B		
	C					
問 2	G の構造式					
	繰り返し単位 の式量					
問 3						
問 4						
問 5						
問 6						

化 学 401 解答用紙（その4）

第4問

問1				
問2	A		B	
問3				
問4	(計算の根拠)			
	答 _____ g			