

クラス		受験番号	
出席番号		氏名	

2018年度 第1回 全統マーク模試
 学習の手引き【解答・解説集】

数 学 ・ 理 科

【2018年5月実施】

• 数 学

数学①

数学Ⅰ 1

数学Ⅰ・数学A 16

数学②

数学Ⅱ 39

数学Ⅱ・数学B 48

• 理 科

理科①

物理基礎 74

化学基礎 81

生物基礎 91

地学基礎 98

理科②

物理 108

化学 120

生物 139

地学 154

英語冊子巻末に「自己採点シート」を掲載していますので、復習のためにご活用ください。

河合塾



1860610119502140

化学

【解答・採点基準】

(100点満点)

問題番号	設問	解答番	正解	配点	自己採点
第1問	問1	1	①	3	
		2	②	3	
	問2	3	③	4	
	問3	4	②	3	
	問4	5	④	4	
	問5	6	①	3	
第1問 自己採点小計				(20)	
第2問	問1	1	①	4	
	問2	2	③	4	
	問3	3	③	4	
	問4	4	⑤	3	
		5	④	3	
第2問 自己採点小計				(18)	
第3問	問1	1	④	4	
	問2	2	⑤	3	
		3	③	3	
	問3	4	①	3	
	問4	5	④	3	
	問5	6	④	4	
第3問 自己採点小計				(20)	
第4問	問1	1	③	3	
	問2	2	②	3	
	問3	3	④	4	
	問4	4	④	4	
第4問 自己採点小計				(14)	
第5問	問1	1	③	3	
	問2	2	⑤	4	
	問3	3	③	4	
	問4	4	③	3	
第5問 自己採点小計				(14)	

問題番号	設問	解答番	正解	配点	自己採点
第6問	問1	1	②	3	
	問2	2	④	3	
	問3	3	⑤	4	
	問4	4	③	4	
第6問 自己採点小計				(14)	
自己採点合計				(100)	

【解説】

第1問 物質の構成

問1 元素の分類、極性分子

a 選択肢の元素のうち、典型元素であるものは①Al(13族)、④I(17族)、⑤P(15族)である。また、金属元素であるものは①Al、②Cu、③Feである。したがって、典型元素であり、かつ金属元素であるものは①Alである。

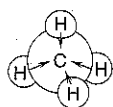
表 周期表(第1~第6周期)と元素の分類

族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	●																	
2	●	●																
3	●	●	●										Al		P			
4	●	●	●	●				Fe			Cu							
5	●	●	●	●	●												I	
6	●	●	●	●	●	●												

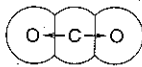
典型元素 ← 遷移元素 → 典型元素
 ● 金属元素 □ 非金属元素

1 … ①

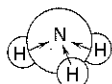
b 単体である①水素 H_2 、⑤塩素 Cl_2 は原子間の結合に極性がなく、無極性分子である。化合物である②アンモニア NH_3 、③メタン CH_4 、④二酸化炭素 CO_2 では、それぞれの原子間の結合には極性があるが、正四面体形の CH_4 、直線形の CO_2 は結合の極性が分子全体で打ち消されるので、無極性分子である。一方、三角錐形の NH_3 では、N-H結合の極性が打ち消されないので、② NH_3 は極性分子である。



メタン CH_4
(正四面体形)



二酸化炭素 CO_2
(直線形)



アンモニア NH_3
(三角錐形)

2 … ②

問2 原子、イオン

① 正しい。陽子は正、電子は負の電荷を帯びており、電荷の絶対値が等しい。したがって、原子は全体として電氣的に中性である。なお、陽子、電子がもつ電荷の絶対値は、ファラデー定数をアボガドロ定数で割った値であり、 $\left(\frac{9.65 \times 10^4 C/mol}{6.02 \times 10^{23}/mol}\right) = 1.60 \times 10^{-19} C$ である。これは電気量の最小単位で電気素量とよばれる。

② 正しい。水素原子 H の原子番号は1、すなわち陽子の数は1なので、質量数3の水素原子 3H の原子核に含まれる中性子の数は $(3-1)=2$ である。なお、 3H は三重水素やトリチウムとよばれる、放射性同位体である。

③ 誤り。原子番号が同じで、質量数の異なる原子どうしを同

【ポイント】

典型元素と遷移元素

周期表の1族、2族と12~18族の元素を典型元素、3~11族の元素を遷移元素という。

結合の極性

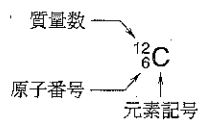
異なる二原子間の結合では、電気陰性度の大きい原子が共有電子対の電子を強く引きつけるので、いくらか負の電荷を帯び、電気陰性度の小さい原子がいくらか正の電荷を帯びる。このような原子間の電荷の偏りを結合の極性という。

極性分子と無極性分子

極性分子 分子全体で極性をもつ分子。結合の極性が分子全体で打ち消されない分子。HF、HClなど異なる原子からなる二原子分子、アンモニア NH_3 、水 H_2O など。

無極性分子 分子全体で極性をもたない分子。単体、および、 CO_2 、 CH_4 のように結合の極性が分子全体で打ち消される分子。

原子番号と質量数



陽子の数 6(個)
 中性子の数 $12-6=6$ (個)
 電子の数 6(個)

同位体

原子番号(陽子の数)が等しく、中性子の数が異なるため質量数が異なる原子を互いに同位体という。同位体どうしの化学的性質はほぼ等しい。

位体という。例えば、原子番号6の炭素には、中性子が6個(質量数12)の ^{12}C と中性子が7個(質量数13)の ^{13}C などの同位体が存在する。

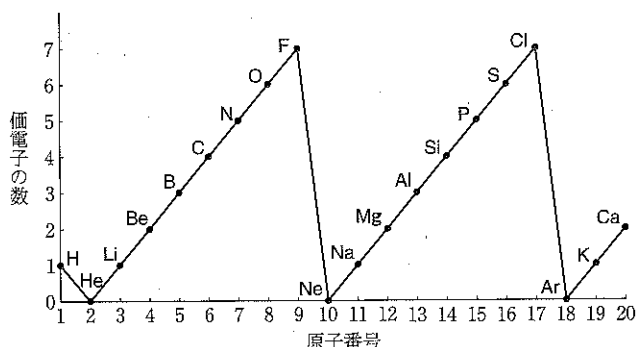
④ 正しい。原子が電子を受け取り、陽子の数より電子の数が多くなって負の電荷を帯びた粒子を陰イオンという。単原子の陰イオンには、酸化物イオン O^{2-} 、フッ化物イオン F^- 、硫化物イオン S^{2-} 、塩化物イオン Cl^- などがある。

⑤ 正しい。典型元素の単原子イオンの電子配置は、原子番号が最も近い希ガス(貴ガス)の電子配置と同じ場合が多い。酸化物イオン O^{2-} は酸素原子 ${}_8\text{O}$ が電子2個を受け取り、ネオン原子 ${}_{10}\text{Ne}$ と同じ電子配置(K殻に2個、L殻に8個)をとっている。ナトリウムイオン Na^+ はナトリウム原子 ${}_{11}\text{Na}$ が電子1個を放出し、 ${}_{10}\text{Ne}$ と同じ電子配置をとっている。

3 ... ③

問3 価電子

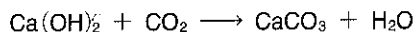
図1では、原子番号2(He)、10(Ne)、18(Ar)の希ガスの数値が最小であり、原子番号2~9、および10~17で規則的に増加している。したがって、**ア**に該当するものは価電子の数と判断できる。なお、最外殻電子の数は、希ガスのHeは2、NeとArは8である。



4 ... ②

問4 成分元素の検出

実験ア 物質Xを加熱し、発生した気体を石灰水(水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液)に通じると、白色の沈殿が生じることから、発生した気体は二酸化炭素 CO_2 と特定できる。また、生じた白色の沈殿は炭酸カルシウム CaCO_3 である。したがって、物質Xには成分元素として炭素Cが含まれていることがわかる。



実験イ 物質Xを塩酸に溶かした水溶液の炎色反応が橙赤色を示したことから、物質Xには成分元素としてカルシウムCaが含まれていることがわかる。

成分元素としてCaとCを含む物質は④炭酸カルシウム

イオン

原子が電子を放出したり、受け取ることによって電荷を帯びた粒子。原子が電子を放出すると、陽子の数が電子の数より多くなるので正の電荷を帯び、原子が電子を受け取ると、電子の数が陽子の数より多くなるので負の電荷を帯びる。前者を陽イオン、後者を陰イオンという。

1個の原子から生じるイオンを単原子イオン、2個以上の原子からなる原子団が電荷を帯びることによって生じるイオンを多原子イオンという。

最外殻電子と価電子

最も外側の電子殻(最外殻)に入っている電子を最外殻電子という。

最外殻電子のうち、原子がイオンになったり、原子どうしが結合するときに重要な役割を果たす電子を価電子という。典型元素では、希ガスを除いて価電子の数は最外殻電子の数と等しい。希ガスは、原子がイオンになったり結合することがほとんどないので、価電子の数は0とする。

炎色反応

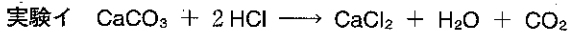
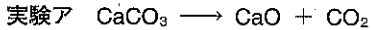
Na, K, Ca, Cuなどある種の元素を含む物質をバーナーの外炎に入れると、それぞれの元素に特有の色を示す。これを炎色反応という。

Li: 赤色, Na: 黄色, K: 赤紫色,

Ca: 橙赤色, Sr: 紅色,

Ba: 黄緑色, Cu: 青緑色

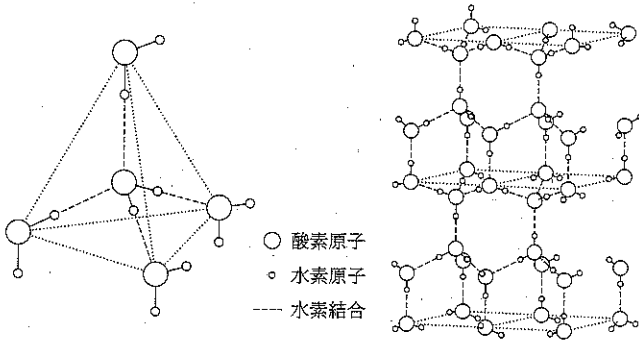
CaCO₃である。なお、実験アでXを加熱したときの変化、実験イでXを塩酸に溶かしたときの変化は、それぞれ次の化学反応式で表される。



5...④

問5 水素結合

選択肢①～⑤のうちで分子からなる物質は、①水 H₂O、②ヨウ素 I₂、④二酸化炭素 CO₂の3つであり、③水銀 Hg は金属、⑤酸化マグネシウム MgO はイオンからなる物質である。分子からなる物質のうちで水素結合によって結晶をつくるものは、O-H結合をもつ①水である。水の結晶である氷では水分子が水素結合によって結びついている。



氷の結晶構造

6...①

第2問 化学量、金属結晶の構造

問1 気体の密度

気体の分子量を M とすると、0℃、 1.013×10^5 Pa (標準状態) における気体 1 mol の体積は 22.4 L、質量は M [g] であるので標準状態における気体の密度 d [g/L] は、次のように表される。

$$d \text{ [g/L]} = \frac{M \text{ [g]}}{22.4 \text{ L}}$$

したがって、標準状態における密度が空気より大きい気体の分子量は、空気の平均分子量より大きい。

空気は窒素 N₂ (分子量 28) と酸素 O₂ (分子量 32) の体積比*が 4:1 の混合気体とするから、その平均分子量は、

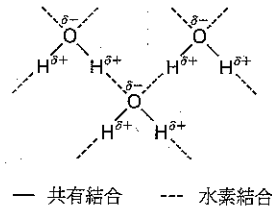
$$28 \times \frac{4}{4+1} + 32 \times \frac{1}{4+1} = 28.8$$

* 一般に、気体の体積比は、同温・同圧における気体の体積比を表す。同温・同圧の気体の体積は物質質量に比例するので、体積比=物質質量比である。

また、選択肢の各気体の分子式および分子量は、次のようにな

水素結合

電気陰性度の大きい原子(F, O, N)の間にH原子をはさんでできる結合を水素結合という。H₂O分子では、O-H間の電気陰性度の差が大きく、いくらか正の電荷(δ+)を帯びたH原子が、他のH₂O分子のいくらか負の電荷(δ-)を帯びたO原子と静電気力によって分子間で引き合っている。



— 共有結合 --- 水素結合

モル体積

物質 1 mol の体積をモル体積という。0℃、 1.013×10^5 Pa (標準状態) の理想気体のモル体積は、気体の種類によらず、22.4 L/mol である。

密度

物質の単位体積あたりの質量を密度という。固体や液体では 1 cm^3 あたりの質量 [g/cm³] で、気体では 1 L あたりの質量 [g/L] で表されることが多い。

$$\text{気体の密度 [g/L]} = \frac{\text{質量 [g]}}{\text{体積 [L]}}$$

混合気体の平均分子量

混合気体を構成する成分気体のモル分率 (混合気体全体に対する成分気体の物質質量の割合) を考慮して求めた分子量の平均値。

混合気体の平均分子量

$$= (\text{成分気体の分子量} \times \text{モル分率}) \text{ の和}$$

る。

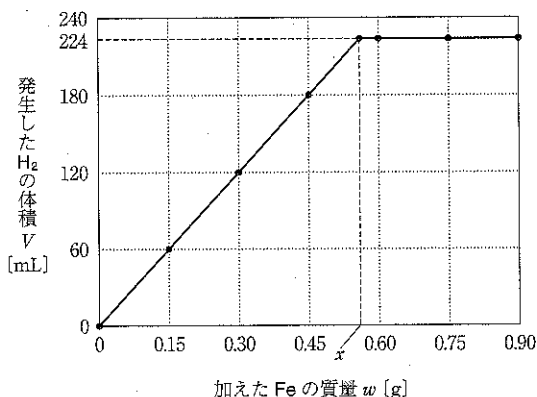
- ① H₂S : 34 ② H₂ : 2.0 ③ Ne : 20
④ CH₄ : 16 ⑤ CO : 28

以上より、標準状態における密度が空気より大きい気体として該当するものは、① H₂S である。

1 ... ①

問2 化学反応の量的関係

加えた鉄 Fe の質量 w [g] と発生した水素 H₂ の 0 °C, 1.013 × 10⁵ Pa (標準状態) における体積 V [mL] の関係を表すグラフは、次のようになる。



用いた塩酸中の塩化水素 HCl と過不足なく反応する Fe の質量を x [g] とすると、グラフより、

$$0.150 : 60.0 (= 0.300 : 120 = 0.450 : 180) = x : 224$$

$$x = 0.560 \text{ g}$$

(a) $w \leq 0.560 \text{ g}$ のとき

加えた Fe はすべて反応し、発生した H₂ の体積 V [mL] は、加えた Fe の質量 w [g] に比例する。

(b) $w > 0.560 \text{ g}$ のとき

加えた Fe の一部は反応せずに残り、発生した H₂ の体積 V [mL] は、加えた Fe の質量 w [g] によらず、一定となる。なお、このとき、用いた塩酸中の HCl はすべて反応する。

① 正しい。加えた Fe の質量が 0.300 g のとき、加えた Fe はすべて反応する。

② 正しい。加えた Fe の質量が 0.900 g のとき、加えた Fe の一部は反応せずに残り、発生した H₂ の標準状態における体積は 224 mL である。なお、反応せずに残る Fe の質量は $0.900 \text{ g} - 0.560 \text{ g} = 0.340 \text{ g}$ である。

③ 誤り。用いた塩酸のモル濃度を C [mol/L] とする。発生した H₂ の体積 V [mL] が一定となるとき、加えた Fe の質量 w [g] によらず、用いた塩酸中の HCl はすべて反応する。与えられた化学反応式より、HCl 2 mol が反応すると H₂ 1 mol が発生するの

モル濃度

溶液 1 L あたりに溶けている溶質の物質質量 [mol] で表した濃度。

モル濃度 [mol/L]

$$= \frac{\text{溶質の物質質量 [mol]}}{\text{溶液の体積 [L]}}$$

化学反応式が表す量的関係

化学反応式の係数の比

$$= \left(\frac{\text{反応により変化する}}{\text{物質の物質質量比}} \right)$$

で、

$$C \text{ [mol/L]} \times \frac{100}{1000} \text{ L} : \frac{224 \times 10^{-3} \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 2 : 1$$

$$C = 0.200 \text{ mol/L}$$

④ 正しい。上述したように、用いた塩酸中の HCl と過不足なく反応する鉄の質量は 0.560 g である。なお、与えられた化学反応式より、Fe 1 mol あたり HCl 2 mol が反応し、H₂ 1 mol が発生するので、 x の値は次のようにして求めることもできる。

$$\frac{x \text{ [g]}}{56 \text{ g/mol}} = 0.200 \text{ mol/L} \times \frac{100}{1000} \text{ L} \times \frac{1}{2} = \frac{224 \times 10^{-3} \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}}$$

$$x = 0.560 \text{ g}$$

2 ... ③

問3 組成式と原子量

金属 M の酸化物 MO₂ を金属 M の単体に還元すると、質量が 40 % 減少することから、MO₂ 100 g あたりに含まれる M および O の質量はそれぞれ 60 g、40 g である。MO₂ に含まれる M と O の粒子数の比(物質量の比)は 1 : 2 であるから、M の原子量を m とすると、

$$M : O = \frac{60 \text{ g}}{m \text{ [g/mol]}} : \frac{40 \text{ g}}{16 \text{ g/mol}} = 1 : 2$$

$$m = 48$$

3 ... ③

問4 銅の結晶構造(面心立方格子)

a 図3に示すように、単体格子2個を並べたとき、網かけした原子(●)に着目すると、最も近くに存在する原子は黒塗りした原子(●)で12個である。したがって、面心立方格子の配位数は12である。

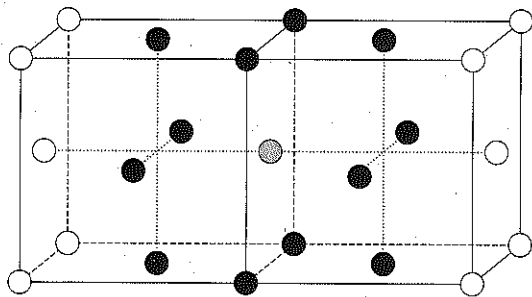


図 3

4 ... ⑤

b 図4に示すように、面心立方格子において、単体格子の頂点にある原子は単体格子中に $\frac{1}{8}$ 個分含まれ、単体格子の面の中心にある原子は単体格子中に $\frac{1}{2}$ 個分含まれる。

組成式

物質を構成する元素の種類と、それぞれの原子(原子団)の数を最も簡単な整数比で表した化学式。

金属結晶の結晶構造

体心立方格子、面心立方格子、六方最密構造について、配位数、単体格子に含まれる粒子数をまとめると、次の表のようになる。

	配位数	粒子数
体心立方格子	8	2
面心立方格子	12	4
六方最密構造	12	2

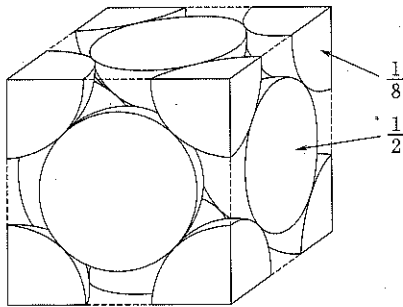


図 4

したがって、単位格子中に含まれる銅原子の数は、

$$\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4 \text{ (個)}$$

以上より、銅の結晶の密度を d [g/cm³] とすると、

$$d \text{ [g/cm}^3\text{]} = \frac{\text{単位格子中の原子の質量 [g]}}{\text{単位格子の体積 [cm}^3\text{]}}$$

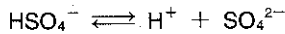
$$= \frac{\frac{M \text{ [g/mol]}}{N_A \text{ [1/mol]}} \times 4}{a^3 \text{ [cm}^3\text{]}} = \frac{4M}{a^3 N_A}$$

5 ... ④

第3問 酸と塩基、酸化還元

問1 水溶液のpH

① 正しい。硫酸 H₂SO₄ は 2 価の強酸であり、次のように電離する。

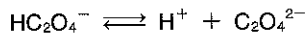
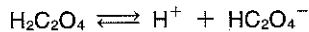


0.010 mol/L の希硫酸の水素イオン濃度 [H⁺] は、

$$[\text{H}^+] > 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} < 2.0$$

② 正しい。シュウ酸 H₂C₂O₄ は 2 価の弱酸であり、次のように一部が電離する。(シュウ酸は (COOH)₂ と表すこともある。)



このとき、1 段目の電離に比べて 2 段目の電離の方が起こりにくく、2 段目の電離で生じる水素イオンの量は、1 段目の電離で生じる水素イオンの量に対して無視できるほどわずかである。よって、水素イオン濃度は 1 段目の電離で生じる水素イオンで決まる。

0.050 mol/L のシュウ酸水溶液の水素イオン濃度 [H⁺] は、

$$[\text{H}^+] < 0.050 \text{ mol/L} = 5.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$

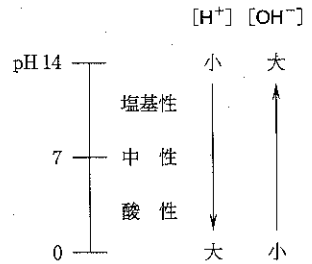
$$\text{pH} > -\log_{10}(5.0 \times 10^{-2}) = 2.0 - \log_{10} 5.0 > 1.0$$

③ 正しい。塩化水素 HCl は 1 価の強酸であり、次のように電離する。

水素イオン濃度と pH

$$[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-n} \text{ [mol/L] のとき、}$$

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+] = n$$



酸・塩基の強弱

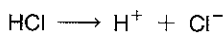
強酸 HCl, HNO₃, H₂SO₄ など

弱酸 CH₃COOH, (COOH)₂ など

強塩基 NaOH, KOH, Ca(OH)₂,

Ba(OH)₂ など

弱塩基 NH₃, Cu(OH)₂, Fe(OH)₃ など

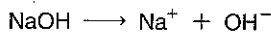


pH 1.0 の塩酸(HCl 水溶液)の水素イオン濃度 $[\text{H}^+]$ は 1.0×10^{-1} mol/L, 塩酸のモル濃度は 1.0×10^{-1} mol/L である。これを水で 100 倍に希釈すると, $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L} \times \frac{1}{100} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ の塩酸となるので, その水素イオン濃度は,

$$[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

よって, pH=3.0

④ 誤り。水酸化ナトリウムは 1 価の強塩基であり, 次のように電離する。



pH 12.0 の水酸化ナトリウム水溶液の水素イオン濃度 $[\text{H}^+]$ は 1.0×10^{-12} mol/L, 水酸化物イオン濃度 $[\text{OH}^-]$ は 1.0×10^{-2} mol/L であり, 水酸化ナトリウムのモル濃度は 1.0×10^{-2} mol/L である。

pH 1.0 の塩酸 10 mL 中の H^+ の物質量は,

$$1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L} \times \frac{10}{1000} \text{ L} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

pH 12.0 の水酸化ナトリウム水溶液 10 mL 中の OH^- の物質量は,

$$1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L} \times \frac{10}{1000} \text{ L} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

したがって, pH 1.0 の塩酸 10 mL と pH 12.0 の水酸化ナトリウム水溶液 10 mL を混合すると, 中和反応が起こり, 反応後は H^+ が残るので, pH 7.0 にはならない。

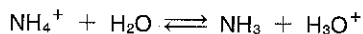
なお, 反応後の水素イオン濃度は,

$$[\text{H}^+] = \frac{1.0 \times 10^{-3} \text{ mol} - 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol}}{\frac{10+10}{1000} \text{ L}} = 4.5 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = -\log_{10}(4.5 \times 10^{-2}) = 2.0 - \log_{10} 4.5$$

⑤ 正しい。塩化アンモニウム NH_4Cl は, 強酸である HCl と弱塩基である NH_3 の中和により得られる塩であり, その水溶液は酸性を示す。よって, 塩化アンモニウム水溶液の pH は 7.0 より小さい。

なお, 塩化アンモニウム水溶液が酸性を示すのは, NH_4Cl の電離で生じた NH_4^+ が次のように加水分解し, オキソニウムイオン H_3O^+ を生じるからである。



1 … ④

問 2 中和滴定

a 器具 X は, 正確な体積の水溶液をはかりとるために用いており, ホールピペットが適当である。

器具 Y は, 水溶液を滴下し, その体積をはかるために用いているので, ビュレットが適当である。

塩の水溶液の性質

強酸と強塩基からなる塩…中性

(ただし, NaHSO_4 は酸性)

弱酸と強塩基からなる塩…塩基性

強酸と弱塩基からなる塩…酸性

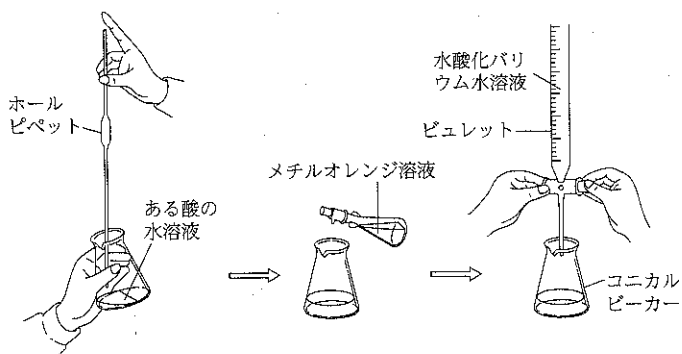
中和滴定で用いる器具

メスフラスコ 正確な濃度の溶液を調製する。

ホールピペット 正確な体積の溶液をはかり取る。

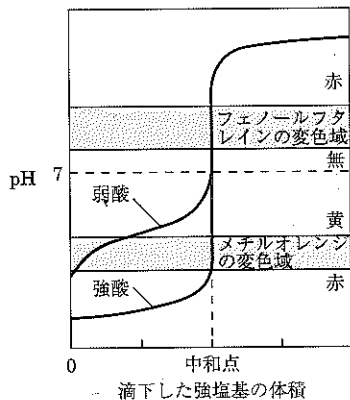
ビュレット 滴下した溶液の体積を正確にはかる。

コニカルビーカー(三角フラスコ) 酸と塩基の水溶液を反応させる。



2...⑤

b 水酸化バリウム $\text{Ba}(\text{OH})_2$ は強塩基である。強酸と強塩基の中和滴定では、指示薬としてメチルオレンジを用いることができるが、弱酸と強塩基の中和滴定では、指示薬としてメチルオレンジを用いて中和点を調べることができない。よって、この実験で用いた酸は強酸であり、塩酸(①~③)が該当する。



用いた塩酸のモル濃度を x [mol/L] とすると、 HCl は 1 個の酸、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ は 2 個の塩基なので、中和反応の量的関係より、

$$1 \times x \text{ [mol/L]} \times \frac{10}{1000} \text{ L} = 2 \times 0.10 \text{ mol/L} \times \frac{10.0}{1000} \text{ L}$$

$$x = 0.20 \text{ mol/L}$$

よって、③ 0.20 mol/L 塩酸が該当する。

3...③

問3 酸化数

Cl 原子の酸化数を x とする。

- ① HClO_4 $(+1) + x + (-2) \times 4 = 0$ $x = +7$
- ② NaClO ClO^- について、
 $x + (-2) = -1$ $x = +1$
- ③ KClO_3 ClO_3^- について、
 $x + (-2) \times 3 = -1$ $x = +5$
- ④ HCl $(+1) + x = 0$ $x = -1$
- ⑤ Cl_2 単体であり、 $x = 0$

指示薬

- ・フェノールフタレイン
変色域：(無色) $8.0 < \text{pH} < 9.8$ (赤色)
- ・メチルオレンジ
変色域：(赤色) $3.1 < \text{pH} < 4.4$ (黄色)

中和反応の量的関係

$$(\text{酸の価数}) \times (\text{酸の物質質量}) = (\text{塩基の価数}) \times (\text{塩基の物質質量})$$

酸化数の決め方

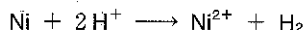
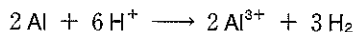
1. 単体中の原子：0
2. 化合物中の H 原子：+1
3. 化合物中の O 原子：-2
(ただし、 H_2O_2 中では -1)
4. 化合物中の原子の酸化数の総和：0
5. 単原子イオンの酸化数：イオンの価数に符号をつけた値
6. 多原子イオン中の原子の酸化数の総和：イオンの価数に符号をつけた値

よって、Cl原子の酸化数が最も大きいものは①HClO₄である。

4 ... ①

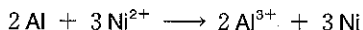
問4 金属のイオン化傾向

実験ア アルミニウムAlおよびニッケルNiは、イオン化傾向が水素より大きく、希塩酸に水素を発生して溶ける。よって、X、Yはアルミニウムまたはニッケルである。



一方、銅Cuは、イオン化傾向が水素より小さく、希塩酸には溶けないので、Zは銅である。

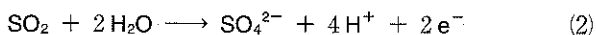
実験イ Xの単体をYの硫酸塩の水溶液に入れても、変化はみられなかったので、イオン化傾向はY>Xである。イオン化傾向はAl>Niなので、Xがニッケル、Yがアルミニウムである。なお、アルミニウムAlを硫酸ニッケル(II)NiSO₄水溶液に入れると、次の反応により、アルミニウムが溶け、ニッケルが析出する。



5 ... ④

問5 酸化還元反応の量的関係

二クロム酸イオンCr₂O₇²⁻は酸化剤として、二酸化硫黄SO₂は還元剤として次のようにはたらく。



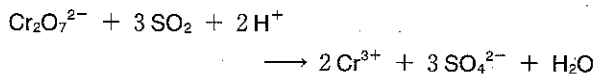
0.10 mol/Lの二クロム酸カリウムK₂Cr₂O₇水溶液30 mLと過不足なく反応する二酸化硫黄SO₂の物質量をx [mol]とすると、酸化剤が受け取るe⁻の物質量と還元剤が放出するe⁻の物質量は等しいので、

$$0.10 \text{ mol/L} \times \frac{30}{1000} \text{ L} \times 6 = x \text{ [mol]} \times 2$$

$$x = 9.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

[別解]

(1)式+(2)式×3より、



Cr₂O₇²⁻とSO₂は1:3の物質量比で過不足なく反応するので、

$$0.10 \text{ mol/L} \times \frac{30}{1000} \text{ L} : x \text{ [mol]} = 1 : 3$$

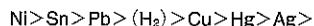
$$x = 9.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

6 ... ④

金属のイオン化傾向

金属の単体が水(溶液)中で電子を放出し、陽イオンになろうとする性質。

イオン化傾向が大きい金属の単体ほど水中で電子を放出してイオンになりやすく、イオン化傾向が小さい金属のイオンほど電子を受け取って単体になりやすい。



酸化剤・還元剤

酸化剤 相手を酸化する物質。自身は還元され、酸化数が減少する原子を含む。

還元剤 相手を還元する物質。自身は酸化され、酸化数が増加する原子を含む。

酸化還元反応の量的関係

酸化剤と還元剤が過不足なく反応するとき、

$$\text{酸化剤が受け取る } e^- \text{ の物質量} \\ = \text{還元剤が与える } e^- \text{ の物質量}$$

第4問 気体、蒸気圧、気液平衡

問1 気体の状態方程式

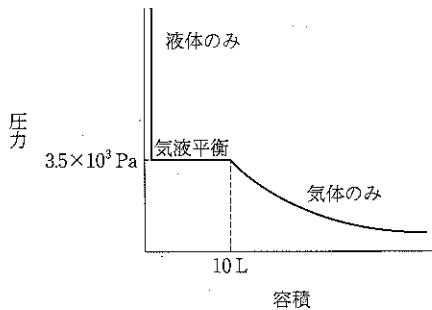
容器内のヘリウム He(原子量 4.0)の質量を w [g]とすると、理想気体の状態方程式より、

$$\begin{aligned} & 1.66 \times 10^5 \text{ Pa} \times 8.0 \text{ L} \\ &= \frac{w \text{ [g]}}{4.0 \text{ g/mol}} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times (273 + 127) \text{ K} \\ & w = 1.6 \text{ g} \end{aligned}$$

1 ... ③

問2 気液平衡

容器の容積を徐々に大きくすると、容器内の水の一部が蒸発して気体(水蒸気)となり、容積が 10 L になるまでは気液平衡の状態となる。10 L のとき水はすべて気体となり、このときまでの圧力は 27 °C における飽和蒸気圧 $3.5 \times 10^3 \text{ Pa}$ である。



① 正しい。容積を 10 L 以上にすると、容器内の水はすべて気体となる。一定物質量の気体では、温度が一定のとき、圧力は体積に反比例する(ボイルの法則)。よって、容積を 10 L から 20 L に変化させると、圧力は状態 A の $\frac{1}{2}$ 倍になる。

② 誤り。容積を 10 L から 5.0 L に変化させても、水蒸気の圧力は飽和蒸気圧 ($3.5 \times 10^3 \text{ Pa}$) より大きくなることはないので、容器内の水は気液平衡の状態となり、容器内の気体の圧力は状態 A と同じ $3.5 \times 10^3 \text{ Pa}$ のままである。

③ 正しい。容積を 10 L に保ち、水の量を 2 倍にしても、水蒸気の量がそれ以上増えることはないので、容器内の水は気液平衡の状態となり、圧力は飽和蒸気圧に保たれるので、圧力は状態 A と同じ $3.5 \times 10^3 \text{ Pa}$ になる。

④ 正しい。水と同じ物質量のアルゴンを容器に加えて、圧力を $3.5 \times 10^3 \text{ Pa}$ に保ったとき、水がすべて気体であると仮定すると、容器内の水蒸気のみル分率は $\frac{1}{2}$ となる。分圧 = 全圧 \times 分子分率なので、水蒸気のみル分圧 $P_{\text{H}_2\text{O}}$ [Pa] は、

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = 3.5 \times 10^3 \text{ Pa} \times \frac{1}{2} = 1.75 \times 10^3 \text{ Pa}$$

となり、飽和蒸気圧を超えていないので仮定は正しく、水はすべて気体として存在する。

2 ... ②

理想気体の状態方程式

理想気体では次の式が成り立つ。

$$pV = nRT$$

p : 圧力 V : 体積

n : 物質量 T : 絶対温度

R : 気体定数

飽和蒸気圧(蒸気圧)

液体とその蒸気が共存して気液平衡の状態にあるとき、蒸気を示す圧力を、飽和蒸気圧(蒸気圧)という。温度が一定のとき、飽和蒸気圧は一定であり、共存している液体の量や、気体の体積には依存しない。

気体の法則

物質量が一定の気体では、以下の法則が成り立つ。

ボイルの法則

温度が一定のとき、気体の体積 V は圧力 p に反比例する。

$$pV = \text{一定}$$

シャルルの法則

圧力が一定のとき、気体の体積 V は絶対温度 T に比例する。

$$\frac{V}{T} = \text{一定}$$

ボイル・シャルルの法則

気体の体積 V は絶対温度 T に比例し、圧力 p に反比例する。

$$\frac{pV}{T} = \text{一定}$$

問3 混合気体

コックを開いて、容器B内の酸素をすべて容器Aに移しても、容器A内の水素の圧力 P_{H_2} [Pa] は 1.0×10^5 Pa のまま変化しない。一方、酸素の分圧を P_{O_2} [Pa] とすると、ボイルの法則より、

$$2.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times 3.0 \text{ L} = P_{O_2} \text{ [Pa]} \times 2.0 \text{ L}$$

$$P_{O_2} = 3.0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

よって、容器A内の圧力(混合気体の全圧)は、ドルトンの分圧の法則により、

$$P_{H_2} + P_{O_2} = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa} + 3.0 \times 10^5 \text{ Pa} = 4.0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

3 ... ④

問4 混合気体と反応の量的関係

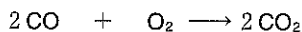
一酸化炭素 CO(分子量 28) 2.8 g の物質量は、

$$\frac{2.8 \text{ g}}{28 \text{ g/mol}} = 0.10 \text{ mol}$$

酸素 O_2 (分子量 32) 3.2 g の物質量は、

$$\frac{3.2 \text{ g}}{32 \text{ g/mol}} = 0.10 \text{ mol}$$

一酸化炭素と酸素の混合気体に点火し、完全燃焼させると、二酸化炭素が生成する。



$$\text{反応前} \quad 0.10 \quad 0.10 \quad 0$$

$$\text{変化量} \quad -0.10 \quad -0.10 \times \frac{1}{2} \quad +0.10$$

$$\text{反応後} \quad 0 \quad 0.050 \quad 0.10 \text{ [単位: mol]}$$

反応後、容器内の圧力は 3.0×10^5 Pa なので、分圧 = 全圧 × モル分率より、二酸化炭素の分圧 P_{CO_2} [Pa] は、

$$P_{CO_2} = 3.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times \frac{0.10 \text{ mol}}{0.050 \text{ mol} + 0.10 \text{ mol}} = 2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

4 ... ④

第5問 溶液

問1 溶液の調製

正確なモル濃度の溶液 V [L] をつくるには、必要な量の溶質を正確に量り、適量の溶媒に溶かしたのち、全量が V [L] になるように溶媒を加える。2.00 mol/L の NaCl(式量 58.5) 水溶液 500 mL を調製するのに必要な NaCl の質量を x [g] とすると、NaCl の物質量について、

$$\frac{x \text{ [g]}}{58.5 \text{ g/mol}} = 2.0 \text{ mol/L} \times \frac{500}{1000} \text{ L}$$

$$x = 58.5 \text{ g}$$

以上から 58.5 g の NaCl を量り、溶液が 500 mL になるように水を加えて溶解させればよい。なお、全体の質量が 500 g になるように水を加えたとしても、溶液の密度は濃度によって変わるの

混合気体の圧力

全圧 混合気体全体が示す圧力

分圧 成分気体が単独で、混合気体と同じ体積を占めたときの圧力。

分圧 = 全圧 × モル分率

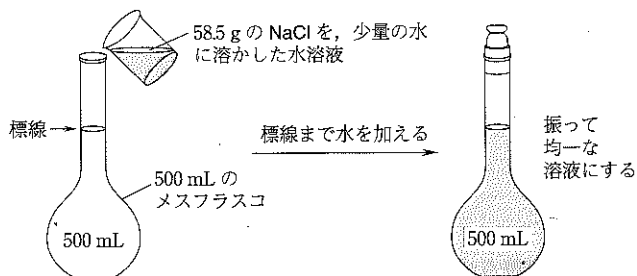
ドルトンの分圧の法則

全圧は混合気体の分圧の和に等しい。

で、溶液の体積は正解には 500 mL にならず、正確なモル濃度はわからない。

なお、正確な体積の溶液をつくるために用いられるガラス器具がメスフラスコである。本問での操作は次のように行う。

ビーカーなどを用いて少量の蒸留水に 58.5 g の NaCl を溶解した後、溶液を 500 mL のメスフラスコに移し入れる。ビーカーの内側を蒸留水で数回洗い、その洗液もすべてメスフラスコに移し入れる。その後、標線まで蒸留水を入れ、栓をして振り、均一な溶液とすることで 2.00 mol/L の NaCl 水溶液 500 mL を調製することができる。



1 ... ③

問2 固体の溶解度

70℃の硝酸カリウム KNO_3 の飽和水溶液を 20℃まで冷却すると、溶解度が小さくなり、溶解しきれなくなった硝酸カリウムが析出し、20℃の飽和水溶液と共存する状態になる。

70℃の飽和水溶液 300 g 中に含まれる硝酸カリウムの質量は、

$$300 \text{ g} \times \frac{140}{100+140} = 175 \text{ g}$$

飽和水溶液に含まれる水の質量は、

$$300 \text{ g} - 175 \text{ g} = 125 \text{ g}$$

この溶液を 20℃まで冷却すると硝酸カリウムが析出するが、溶液に含まれる水の質量は変化しない。このとき、 x [g] の硝酸カリウムの沈殿が生じるとすると、共存する 20℃の飽和水溶液に含まれる溶質と溶媒のそれぞれの質量は、

$$\text{溶質}(\text{KNO}_3) \quad (175-x) \text{ [g]}$$

$$\text{溶媒}(\text{H}_2\text{O}) \quad 125 \text{ g}$$

以上より、20℃の硝酸カリウムの溶解度を用いて、

$$\frac{\text{溶質の質量}}{\text{溶媒の質量}} = \frac{(175-x) \text{ [g]}}{125 \text{ g}} = \frac{32}{100}$$

または、

$$\frac{\text{溶質の質量}}{\text{溶液の質量}} = \frac{(175-x) \text{ [g]}}{(300-x) \text{ [g]}} = \frac{32}{100+32}$$

$$x = 135 \text{ g}$$

【別解】

水 100 g に硝酸カリウム 140 g が溶解した 70℃の飽和水溶液

固体の溶解度

固体の溶解度は、飽和溶液中の溶媒 100 g あたりに溶解している溶質の質量 [g] で表すことが多い。

水に対する溶解度が s [g/水 100 g] の飽和溶液では、

$$\frac{\text{溶質の質量}}{\text{溶媒の質量}} = \frac{s}{100}$$

$$\frac{\text{溶質の質量}}{\text{溶液の質量}} = \frac{s}{100+s}$$

を 20℃ まで冷却すると、水 100 g に硝酸カリウムが 32 g までしか溶解しないので、 $140\text{ g} - 32\text{ g} = 108\text{ g}$ の硝酸カリウムが析出する。硝酸カリウムの析出量は、冷却前の飽和水溶液の質量に比例するので、硝酸カリウムの析出量を x [g] とすると、

$$\frac{x\text{ [g]}}{300\text{ g}} = \frac{(140 - 32)\text{ g}}{(100 + 140)\text{ g}}$$

$$x = 135\text{ g}$$

2 … ⑤

問3 気体の溶解度

容器内に窒素が封入されているとき、水に溶解している窒素を n_x [mol] とする。また、空気中で容器を開封した後、水に溶解している窒素を n_y [mol] とすると、

$$n_x\text{ [mol]} = n_y\text{ [mol]} + 2.2 \times 10^{-4}\text{ mol}$$

空気は窒素と酸素の体積比が 4:1 の混合気体とするから、体積比 = 物質質量比の関係より、空気中の窒素の分圧は、

$$1.0 \times 10^5\text{ Pa} \times \frac{4}{4+1} = 8.0 \times 10^4\text{ Pa}$$

よって、容器を開封し、水と空気が接しているとき、1.0 L の水に溶解している窒素の物質質量 n_y [mol] は、ヘンリーの法則より、

$$n_y = 1.1 \times 10^{-3}\text{ mol} \times \frac{8.0 \times 10^4\text{ Pa}}{1.0 \times 10^5\text{ Pa}} = 8.8 \times 10^{-4}\text{ mol}$$

はじめの容器内に封入されていた窒素の圧力が P [Pa] である とすると、1.0 L の水に溶解していた窒素の物質質量 n_x [mol] は、

$$n_x = 1.1 \times 10^{-3}\text{ mol} \times \frac{P\text{ [Pa]}}{1.0 \times 10^5\text{ Pa}} = 1.1 \times 10^{-8}P\text{ [mol]}$$

以上より、

$$1.1 \times 10^{-8}P\text{ [mol]} = 8.8 \times 10^{-4}\text{ mol} + 2.2 \times 10^{-4}\text{ mol}$$

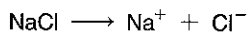
$$P = 1.0 \times 10^5\text{ Pa}$$

3 … ③

問4 蒸気圧降下、沸点上昇

溶液中の溶質粒子の質量モル濃度が大きいほど、蒸気圧降下の度合いは大きくなるため、溶液の蒸気圧は小さくなる。また、溶液中の溶質粒子の質量モル濃度が大きいほど、沸点上昇度が大きくなるため、溶液の沸点は高くなる。

A の溶質である塩化ナトリウム NaCl は電解質なので、水溶液中で次のように電離する。



よって、A の溶質粒子 (Na^+ と Cl^-) の総質量モル濃度は、

$$\frac{1.0 \times 10^{-3}\text{ mol} \times 2}{\frac{100}{1000}\text{ kg}} = 2.0 \times 10^{-2}\text{ mol/kg}$$

B の溶質であるグルコースは非電解質なので、B の溶質粒子 (グルコース分子) の質量モル濃度は、

気体の溶解度

温度が低く、圧力が高いほど、気体の溶解度(質量・物質質量)は増加する。

溶解度の小さい気体では、一定温度での溶解量(質量・物質質量)は液体に接している気体の圧力(分圧)に比例する(ヘンリーの法則)。

質量モル濃度

溶媒 1 kg あたりに溶けている溶質の物質質量 [mol] で表した濃度。

質量モル濃度 [mol/kg]

$$= \frac{\text{溶質の物質質量 [mol]}}{\text{溶媒の質量 [kg]}}$$

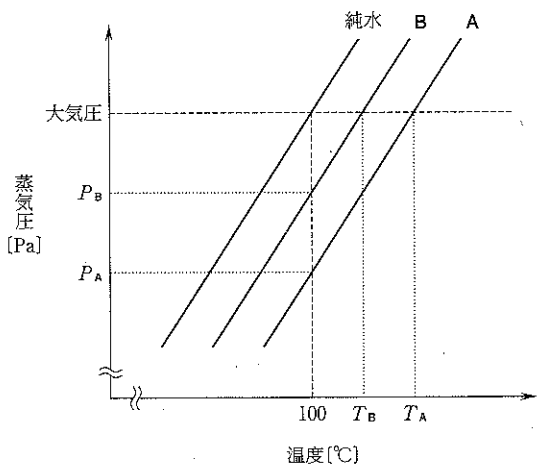
蒸気圧降下

溶質が不揮発性物質の場合、ある温度での溶液の蒸気圧は、純溶媒の蒸気圧より低い。希薄溶液の蒸気圧降下の度合いは、溶質粒子全体の質量モル濃度に比例する。

$$\frac{1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}}{\frac{100}{1000} \text{ kg}} = 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/kg}$$

以上より、100℃におけるAの蒸気圧降下の度合い(純水とAの蒸気圧の差)は、100℃におけるBの蒸気圧降下の度合い(純水とBの蒸気圧の差)よりも大きいので、溶液の蒸気圧はB(P_B)よりもA(P_A)の方が低い($P_A < P_B$)。また、Aの沸点上昇度はBの沸点上昇度よりも大きいので、大気圧下での溶液の沸点はB(T_B)よりもA(T_A)の方が高い($T_A > T_B$)。

なお、純水と水溶液A、水溶液Bの水の蒸気圧曲線を100℃付近で拡大すると、次のようになる。

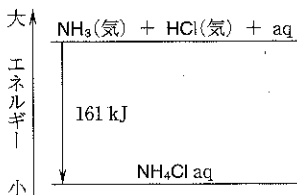


4 ... ③

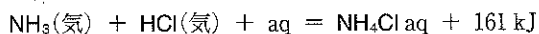
第6問 化学反応と熱、電池と電気分解

問1 化学反応とエネルギー

a アンモニア NH_3 (気) 1 mol と塩化水素 HCl (気) 1 mol を多量の水(aq)に加えると、161 kJの熱が発生することから、物質のもつエネルギーに関する次の図が導かれる。



なお、161 kJの熱量は、 NH_3 (気)および HCl (気)の水への溶解熱と、水中での NH_3 と HCl の中和熱の和に相当する。



b 塩化アンモニウム NH_4Cl (固) 1 mol を多量の水に加えると、15 kJの熱が吸収されることから、次の図が導かれる。

沸点上昇

溶質が不揮発性の物質である場合、溶液の沸点は、純溶媒の沸点より高い。希薄溶液の沸点上昇度は、溶質粒子全体の質量モル濃度に比例する。

溶質粒子の質量モル濃度を m [mol/kg]、沸点上昇度を Δt_b [K] とすると、

$$\Delta t_b = K_b m$$

(K_b : 溶媒の種類で決まる比例定数で、モル沸点上昇という。)

発熱反応と吸熱反応

熱を発生しながら進む反応を発熱反応、周囲から熱を吸収しながら進む反応を吸熱反応という。

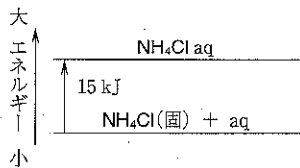
反応物、生成物のもつエネルギーの総和が

反応物 > 生成物 ⇔ 発熱反応

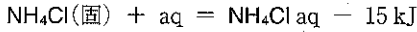
反応物 < 生成物 ⇔ 吸熱反応

溶解熱

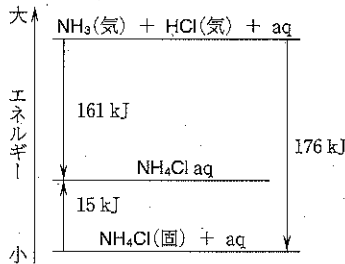
物質 1 mol が多量の溶媒に溶解するとき発生または吸収する熱量。



なお、 $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{固})$ の水への溶解熱が -15 kJ/mol である。



上記の二つの図をまとめると、次のようになる。



なお、図より、 $\text{NH}_3(\text{気})$ 1 mol と $\text{HCl}(\text{気})$ 1 mol から $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{固})$ が生成する際の反応熱は $(161+15)=176 \text{ kJ}$ である。

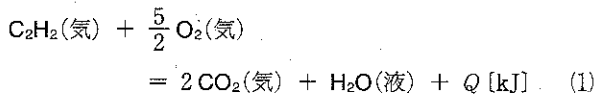


1

 …②

問2 熱化学方程式と反応熱

問題で与えられたアセチレン $\text{C}_2\text{H}_2(\text{気})$ の完全燃焼に関する熱化学方程式を(1)式とする。



反応熱と反応に関与する物質の生成熱には、次の関係がある。

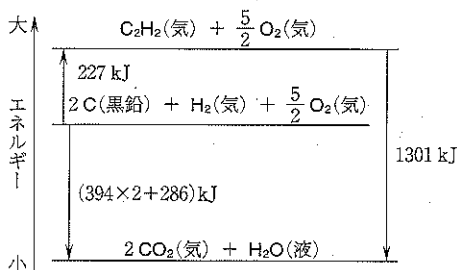
$$\begin{aligned} \text{反応熱} &= (\text{生成物の生成熱の総和}) \\ &\quad - (\text{反応物の生成熱の総和}) \end{aligned}$$

(1)式について、この関係を適用すると*

$$\begin{aligned} Q &= (394 \text{ kJ/mol} \times 2 \text{ mol} + 286 \text{ kJ/mol} \times 1 \text{ mol}) \\ &\quad - (-227 \text{ kJ/mol} \times 1 \text{ mol}) \\ &= 1301 \text{ kJ} \end{aligned}$$

* 単体である $\text{O}_2(\text{気})$ の生成熱は 0 とすることに注意する。

なお、アセチレン $\text{C}_2\text{H}_2(\text{気})$ の燃焼熱が 1301 kJ/mol である。また、(1)式の反応物と生成物、およびその成分元素の単体のもつエネルギーの関係を表す図は次のようになる。



生成熱

化合物 1 mol が成分元素の単体から生成するときに発生または吸収する熱量。

反応熱と反応に関与する物質の生成熱には、次の関係がある。

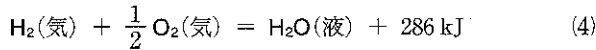
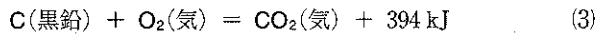
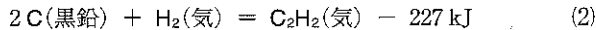
$$\begin{aligned} \text{反応熱} &= (\text{生成物の生成熱の総和}) \\ &\quad - (\text{反応物の生成熱の総和}) \end{aligned}$$

燃焼熱

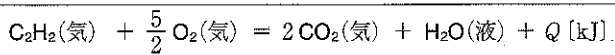
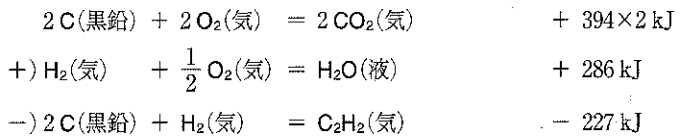
物質 1 mol が完全燃焼するときに発生する熱量。

[別解]

アセチレン，二酸化炭素 CO_2 (気)，水 H_2O (液)の生成熱より，次の熱化学方程式が得られる。



(1)式=(3)式 \times 2+(4)式-(2)式である。



よって，

$$Q = 394 \times 2 \text{ kJ} + 286 \text{ kJ} - (-227) \text{ kJ} = 1301 \text{ kJ}$$

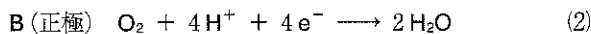
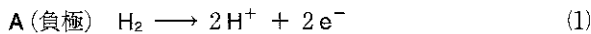
2 ... ④

問3 水素-酸素燃料電池

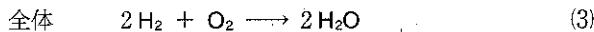
問題の図1の電池は，リン酸型の水素-酸素燃料電池である。



水素-酸素燃料電池の放電では，負極で水素が酸化され，正極で酸素が還元される。リン酸型の場合の負極と正極の反応式は次のとおりである。



(1)式 \times 2+(2)式より，電池全体の反応の化学反応式は，



このように，水素-酸素燃料電池全体では水素の燃焼と同じ反応が起こる。

① 正しい。電極Aでは水素が酸化され，導線に向かって電子を放出するので，電極Aは負極になる。

② 正しい。電極Bでは，導線から流れ込む電子を酸素が受け取り，還元される。

③ 正しい。導線中を電流は，電極B(正極)から電極A(負極)の向きに流れる。なお，電流の向きは正電荷が流れる向きと定められているため，負電荷をもつ電子の流れる向きとは逆になる。電池の放電では，導線中を電子が負極から正極に流れるので，導線中の電流の向きは正極から負極になる。

④ 正しい。(3)式より，放電によってリン酸 H_3PO_4 の物質量は変化しないことがわかる。

⑤ 誤り。リン酸水溶液の代わりに水酸化カリウム水溶液を用いると，アルカリ型の水素-酸素燃料電池になる。

電池

酸化還元反応により発生する化学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。

負極 酸化反応が起こる。

正極 還元反応が起こる。

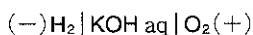
外部回路を，電子は負極から正極に流れ，電流は正極から負極に流れる。

燃料電池

燃料(還元剤)と酸素(酸化剤)を連続的に供給し，燃焼による熱エネルギーのかわりに電気エネルギーを取り出す装置。

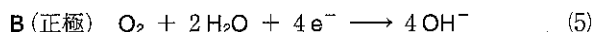
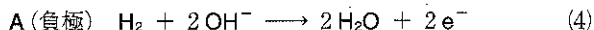
例：リン酸型水素-酸素燃料電池





アルカリ型の場合も、電極Aが負極、電極Bが正極になり、負極で水素が酸化され、正極で酸素が還元されることは変わらない。よって、導線中の電流の向きも変わらず、電極B(正極)から電極A(負極)の向きに電流が流れる。

なお、アルカリ型の場合の負極と正極の反応式は次のとおりである。



また、(4)式×2+(5)式=(3)式となり、電池全体の反応はリン酸型の場合と同じになる。

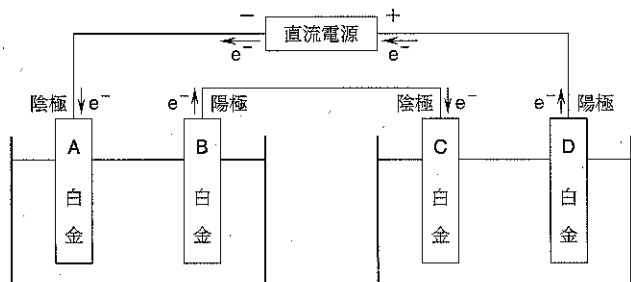
[補足]

リン酸型の場合、電解液中の水素イオン濃度が大きいので、電解液中を水素イオン H^+ が負極から正極の向きに移動する((1),(2)式参照)。一方、アルカリ型の場合、電解液中の水酸化物イオン濃度が大きいので、電解液中を水酸化物イオン OH^- が正極から負極の向きに移動する((4),(5)式参照)。

3 ... ⑥

問4 水溶液の電気分解

電極Aでは銅(II)イオンが還元されて銅が析出したことから、電極Aは陰極であり、電極Bは陽極である。電解槽IとIIは直列に接続されていることから、電極Cは陰極、電極Dは陽極である。

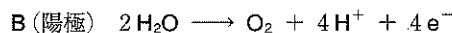
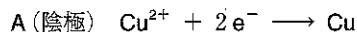


電解槽 I 硫酸銅(II)水溶液

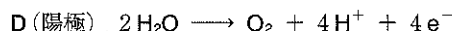
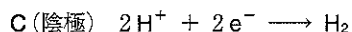
電解槽 II 希硫酸

各電極ではそれぞれ次の反応が起こる。

電解槽 I 硫酸銅(II) $CuSO_4$ 水溶液



電解槽 II 希硫酸(H_2SO_4 水溶液)



電解槽 I と II は直列に接続されているので、電極 A ~ D で流出・流入する電子の物質量はすべて等しい。よって、反応式より、流れた電子の物質量と電極 B ~ D で発生した気体の物質量の比は、

電気分解

電解質の水溶液や融解液に電極を入れ、直流電流を流して酸化還元反応を起こさせること。外部電源の正極と接続した陽極では酸化反応、外部電源の負極と接続した陰極では還元反応が起こる。

水溶液の電気分解の反応

陽極 以下の酸化反応が起こる。

- 電極が Cu や Ag のとき
 - Cu や Ag がイオンになって溶け出す。
- 電極が C や Pt のとき
 - ハロゲン化物イオンがあれば、酸化されてハロゲンの単体が生成する。
 - ハロゲン化物イオンがなければ、 H_2O (電解液が酸性、中性のとき)や OH^- (電解液が塩基性のとき)が酸化されて O_2 が発生する。

陰極 以下の還元反応が起こる。

- Ag^+ や Cu^{2+} があれば、還元されて Ag や Cu が析出する。
- Ag^+ や Cu^{2+} がなければ、 H_2O (電解液が中性、塩基性のとき)や H^+ (電解液が酸性のとき)が還元されて H_2 が発生する。

$e^- : O_2(\text{電極 B}) : H_2(\text{電極 C}) : O_2(\text{電極 D}) = 4 : 1 : 2 : 1$
となり，発生した気体の物質量の大小関係は $C > B = D$ である。

4 …③