

クラス		受験番号	
出席番号		氏名	

2017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

【2017年4月実施】

• 数 学

数学①

数学Ⅰ	1
数学Ⅰ・数学A	26

数学②

数学Ⅱ	55
数学Ⅱ・数学B	64

• 理 科

理科①

物理基礎	86
化学基礎	96
生物基礎	104
地学基礎	111

理科②

物理	124
化学	136
生物	154
地学	167

英語冊子巻末に「自己採点シート」と「学力アップ・志望校合格のための復習法」を掲載していますので、志望校合格へむけた効果的な復習のためにご活用ください。

河合塾



1760610119502140

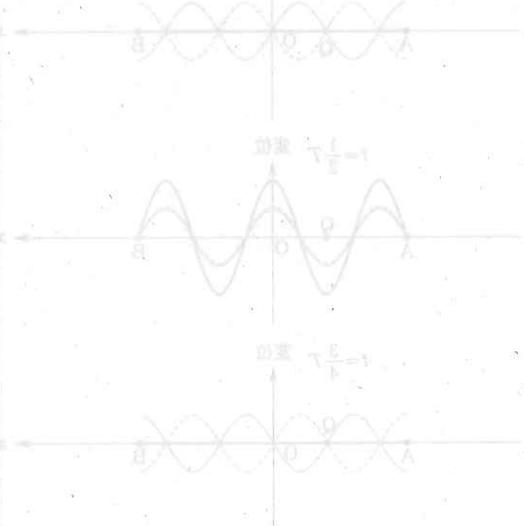
化学

【解答・採点基準】

(100点満点)

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

問題番号	設問	解答番号	正解	配点	自己採点
第6問	問1	1	②	4	
	問2	2	②	4	
	問3	3	③	3	
	問4	4	③	4	
5		②	3		
第6問 自己採点小計				(18)	
自己採点合計				(100)	



【解説】

第1問 物質の構成

問1 原子の電子配置

原子の最外電子殻は、周期表での周期が進むごとに一つずつ外側の電子殻に移り、第1周期の元素はK殻、第2周期の元素はL殻、第3周期の元素はM殻が最外電子殻になる。また、典型元素の最外電子殻の数は、ヘリウム He を除いて、族番号の一の位の数と等しい。よって、L殻に含まれる電子の数が6個であるものは、周期表で第2周期16族の酸素 O の原子である。

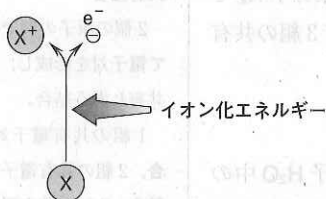
なお、①～⑥の原子の電子配置は次のとおりである。

	原子	周期番号	族番号	電子配置		
				K殻	L殻	M殻
①	$_{13}\text{Al}$	3	13	2	8	3
②	$_{18}\text{Ar}$	3	18	2	8	8
③	$_{9}\text{F}$	2	17	2	7	
④	$_{2}\text{He}$	1	18	2		
⑤	$_{8}\text{O}$	2	16	2	6	
⑥	$_{16}\text{S}$	3	16	2	8	6

①…⑥

問2 イオン化エネルギー

原子から最外電子1個を取り去って、1価の陽イオンにするときに必要なエネルギーをイオン化エネルギーといい、一般に、イオン化エネルギーが小さい原子ほど陽イオンになりやすい(陽性が強い)。



原子のイオン化エネルギーは周期的に変化し、同一周期では原子番号が大きいほど大きくなる傾向にあり、1族が最も小さく、18族が最も大きい。また、同族では原子番号が大きいほど小さくなる傾向にある。したがって、周期表で右上に位置する元素ほどイオン化エネルギーが大きくなる傾向にあり、全元素中でヘリウム He が最も大きい。以上より、③の図が正しい。

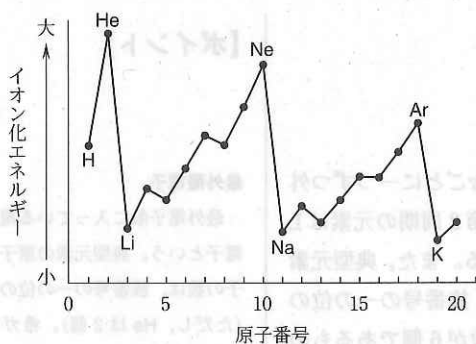
【ポイント】

最外電子殻

最外電子殻に入っている電子を最外電子殻電子という。典型元素の原子の最外電子殻電子の数は、族番号の一の位の数に等しい(ただし、Heは2個)。希ガス以外の原子の最外電子殻電子は、原子がイオンになったり結合するときに重要な役割を果たすので、価電子という。なお、希ガスの原子は、イオンになったり結合することがほとんどないので、希ガスの価電子の数は0とする。

イオン化エネルギー(第一イオン化エネルギー)

原子から電子1個を取り去って、1価の陽イオンにするときに必要なエネルギー。イオン化エネルギーが小さい原子ほど陽イオンになりやすい。

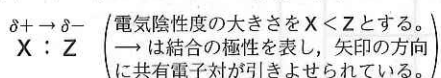


なお、縦軸に①は原子量、②は価電子の数、④は単体の融点を表した図である。

2 ... ③

問3 結合の極性

異なる2原子間の共有結合では、共有電子対は電気陰性度の大きい原子の方に引き寄せられ、電気陰性度の大きい原子はわずかに負の電荷(δ^-)を帯び、電気陰性度の小さい原子はわずかに正の電荷(δ^+)を帯びる。これを結合の極性という。



結合の極性の大きさ(電荷の偏り)は、2原子の電気陰性度の差が大きいくほど大きくなる。電気陰性度は大きい順に $O > C > H$ なので、エタノール分子 C_2H_5OH に含まれる共有結合の中で最も極性の大きい結合は $O-H$ である。

$\delta^- \leftarrow \delta^+$
極性の大きい結合は $O-H$ である。

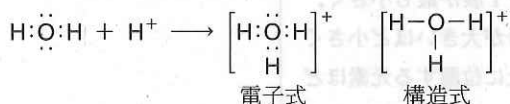
3 ... ④

問4 化学結合と結晶

① 誤り。窒素原子 N は5個の価電子をもち、窒素分子 N_2 では、2個の窒素原子が不対電子を3個ずつ出しあって3組の共有電子対を形成している(三重結合)。



② 正しい。オキソニウムイオン H_3O^+ は、水分子 H_2O 中の酸素原子 O の非共有電子対が水素イオン H^+ に提供され、 H_2O と H^+ が配位結合で結びついたイオンである。



通常の共有結合では、2原子が不対電子を出しあって共有電子対が形成されるのに対して、配位結合では、一方の原子の非共有電子対が他方の原子と共有される。このように配位結合は、でき方が通常の共有結合と異なるが、できた結合の性質は通常の共有結合とまったく同じである。したがって、 H_3O^+ に含まれる三つの $O-H$ 結合はすべて同じ性質である。

【情報】

加算の資料 関！基
電流千原の千原 ！関

電気陰性度

原子が共有電子対を引きつける強さを数値で表したものを。電気陰性度の大きい原子ほど共有電子対を強く引きつける。おもな非金属元素の電気陰性度の大きさは、 $F > O > Cl > N > C > H$ の順である。

結合の極性

異なる原子間の共有電子対が電気陰性度の大きい原子の方に引き寄せられるため、結合している原子間に電荷の偏りがあること。

共有結合

2個の原子の間で不対電子を出しあって電子対を形成し、これを両方の原子で共有しあう結合。

1組の共有電子対による結合を単結合、2組の共有電子対による結合を二重結合、3組の共有電子対による結合を三重結合という。

配位結合

一方の原子の非共有電子対が他方の原子に提供されてできる共有結合。

③ 正しい。ヨウ化カリウム KI は、カリウムイオン K^+ とヨウ化物イオン I^- からなるイオン結晶である。イオン結晶は、結晶の状態ではイオンが動けないので電気を通さないが、融解したり水に溶かすと、イオンが自由に動けるようになるので電気を通す。

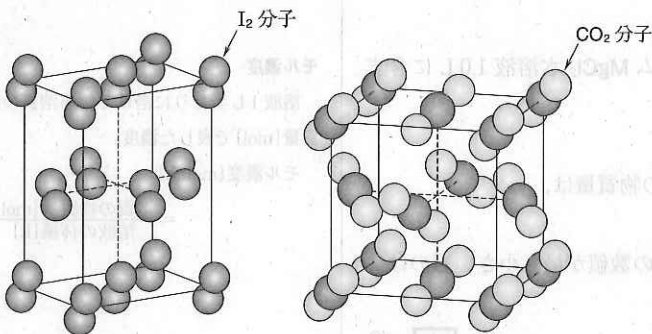
④ 正しい。フッ化カルシウム CaF_2 は、カルシウムイオン Ca^{2+} とフッ化物イオン F^- からなるイオン結晶である。イオン結晶では、陽イオンと陰イオンが静電気力(クーロン力)で引きあって結びついており、これをイオン結合という。イオン結合は結合力が強いので、イオン結晶は硬いが、強い力が加わることで結晶中のイオンの配列がずれ、同じ符号の電荷をもつイオン同士が接近すると互いに反発しあい、特定の面に沿って割れやすい。このような性質を劈開性^{へきかい}という。

⑤ 正しい。金 Au の結晶は金属結晶である。金属結晶には、たたいて薄く広げることができる性質があり、これを展性という。また、引っ張って長く延ばすことができる性質があり、これを延性という。金属結晶が展性や延性を示すのは、自由電子が結晶全体を自由に移動できるため、金属原子の配列がずれても金属結合が切れないからである。なお、金は、銀、銅、アルミニウムなどととともに特に展性や延性が大きい金属であり、金箔^{びん}や金線として用いられる。

4 ... ①

問5 分子結晶とその性質

ア、イに当てはまるのは、①ヨウ素と②二酸化炭素である。それぞれの結晶は、ヨウ素分子 I_2 、二酸化炭素分子 CO_2 が分子間力(ファンデルワールス力)で結びついて規則的に配列した分子結晶である。なお、固体の二酸化炭素はドライアイスとよばれる。



ヨウ素の結晶構造

ドライアイス(CO_2)の結晶構造

分子間力は結合力が弱いので、分子結晶は融点が低く軟らかい。また、ヨウ素 I_2 や二酸化炭素 CO_2 など昇華しやすいものもある。

ウに関して、ヨウ素と二酸化炭素のうち、ヨウ素は水に溶けにくい。一方、二酸化炭素は水に溶け、その一部が炭酸分子 H_2CO_3

原子間の結合と結晶の種類

非金属元素のみからなる結晶

共有結合……多くは分子結晶

(ただし、ダイヤモンド、黒鉛、ケイ素、二酸化ケイ素は共有結合の結晶。

NH_4Cl 、 $(NH_4)_2SO_4$ などは、 NH_4^+ と陰イオンがイオン結合で結びついたイオン結晶。)

金属元素と非金属元素からなる結晶

イオン結合…イオン結晶

金属元素のみからなる結晶

金属結合……金属結晶

結晶の分類と性質

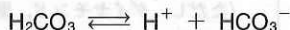
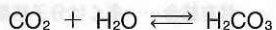
イオン結晶 陽イオンと陰イオンがイオン結合で結びついた結晶。硬くてもろい。結晶は電気を導かないが、水溶液や融解液は電気を導く。

金属結晶 金属原子が自由電子による金属結合で結びついた結晶。展性や延性を示す。電気をよく導く。

分子結晶 分子が分子間力(ファンデルワールス力や水素結合)で結びついた結晶。軟らかくもろい。電気を導かない。

共有結合の結晶 原子が共有結合によって次々と結びついた結晶。非常に硬く、電気を導かない。(黒鉛は軟らかく、また、電気を導く。ケイ素は半導体である。)

になる。炭酸分子は次のように電離するので、二酸化炭素の水溶液(炭酸水)は酸性を示す。



以上より、ア～ウのいずれにも当てはまる物質は③二酸化炭素である。

なお、②二酸化ケイ素 SiO_2 の結晶は共有結合の結晶であり、また、④塩化銀 AgCl と⑤塩化アンモニウム NH_4Cl はイオン結晶である。

5 …③

第2問 物質と化学反応式、結晶の構造

問1 物質

① 硫黄原子 S の原子量は 32 なので、硫黄の単体 48 g に含まれる S 原子の物質量は、

$$\frac{48 \text{ g}}{32 \text{ g/mol}} = 1.5 \text{ mol}$$

なお、硫黄の単体には、 S_8 分子からなる斜方硫黄、単斜硫黄や長い鎖状分子からなるゴム状硫黄などの同素体がある。

② 酸素分子 O_2 は 2 個の酸素原子 O が共有結合で結びついてできている。標準状態 (0°C , $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$) で 16.8 L の酸素 O_2 に含まれる O 原子の物質量は、

$$\frac{16.8 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} \times 2 = 1.5 \text{ mol}$$

③ 水分子 H_2O は 2 個の水素原子 H と 1 個の酸素原子 O から構成されている。 1.2×10^{24} 個の H 原子を含む H_2O 分子の物質量は、

$$\frac{1.2 \times 10^{24}}{6.0 \times 10^{23} / \text{mol}} \times \frac{1}{2} = 1.0 \text{ mol}$$

④ 1.0 mol/L の塩化マグネシウム MgCl_2 水溶液 1.0 L に含まれる MgCl_2 の物質量は、

$$1.0 \text{ mol/L} \times 1.0 \text{ L} = 1.0 \text{ mol}$$

1.0 mol の MgCl_2 に含まれる Cl^- の物質量は、

$$1.0 \text{ mol} \times 2 = 2.0 \text{ mol}$$

したがって、①～④の中で下線部の数値が最も小さいものは③である。

1 …③

問2 化学反応式

化学反応が起こっても、原子の種類や数は変化しないので、化学反応式の左辺と右辺でそれぞれの元素の原子数は等しい。

次の化学反応式において、

モル質量

物質を構成する粒子 1 mol 当たりの質量をモル質量といい、原子量・分子量・式量の数値に単位 g/mol をつけて表される。

モル質量と物質量の関係

$$\text{物質量 [mol]} = \frac{\text{質量 [g]}}{\text{モル質量 [g/mol]}}$$

気体のモル体積

物質 1 mol 当たりの体積をモル体積といい、気体のモル体積は標準状態 (0°C , $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$) で 22.4 L/mol である。

気体のモル体積と物質量の関係

$$\text{物質量 [mol]} = \frac{\text{体積 [L]}}{22.4 \text{ L/mol}} \quad (\text{標準状態})$$

モル濃度

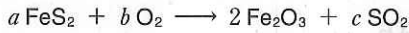
溶液 1 L 当たりに溶けている溶質の物質量 [mol] で表した濃度。

モル濃度 [mol/L]

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

化学反応式

化学式を使って化学反応を表した式。左辺と右辺で元素の種類とそれぞれの元素の原子の数は等しい。



$$\text{Fe} \quad 1 \times a = 2 \times 2 \qquad a = 4$$

$$\text{S} \quad 2 \times a = 1 \times c \qquad c = 8$$

$$\text{O} \quad 2 \times b = 3 \times 2 + 2 \times c \qquad b = 11$$

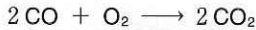
したがって、化学反応式は、



2...⑥

問3 化学反応の量的関係

一酸化炭素 CO と酸素 O_2 の混合気体に着火すると二酸化炭素 CO_2 が生じる。



気体の反応で、反応前と反応後の各気体の温度と圧力が等しい(この問題では、 0°C 、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$)ときは、反応・生成する各物質について「係数の比=体積の比」になる。

この反応では、物質量の比(CO の物質量： O_2 の物質量)が2:1のとき、 CO と O_2 が過不足なく反応する。同温・同圧では、気体の物質量の比と体積の比は等しいので、過不足なく反応するときの CO と O_2 の体積は、

$$\text{CO} \quad 120 \text{ mL} \times \frac{2}{2+1} = 80 \text{ mL}$$

$$\text{O}_2 \quad 120 \text{ mL} - 80 \text{ mL} = 40 \text{ mL}$$

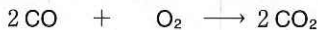
したがって、 $x=80$ 、 $0 < x < 80$ 、 $80 < x < 120$ の3つの場合について、生じる CO_2 の体積(mL)を計算する。

i) $x=80$ のとき

CO と O_2 は過不足なく反応し、 CO_2 80 mLが生じる。

ii) $0 < x < 80$ のとき

CO が80 mL未満で、 O_2 が40 mLを超える場合では、 CO がすべて反応し、 O_2 が一部残る。



$$\text{反応前} \quad x \quad 120-x \quad 0$$

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

$$\text{反応後} \quad 0 \quad 120-\frac{3}{2}x \quad x \quad [\text{単位: mL}]$$

CO_2 の生成量は x [mL]で、80 mLより少ない。

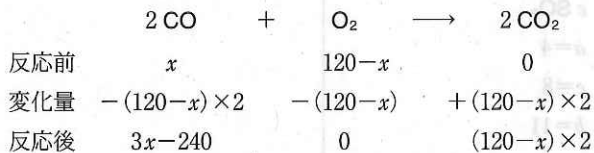
iii) $80 < x < 120$ のとき

CO が80 mLを超え、 O_2 が40 mL未満の場合では、 O_2 がすべて反応し、 CO が一部残る。

化学反応式と量的関係

化学反応式の係数の比

= 反応・生成する物質の物質量の比



[単位：mL]

CO₂の生成量は(120-x)×2 [mL]で、80 mL より少ない。

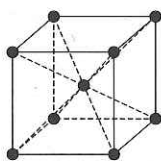
以上から、生じるCO₂の量は、COとO₂が過不足なく反応するときが最大である。したがって、V=80 mLである。

3 … ③

問4 金属の結晶格子

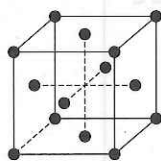
a ① 正しい。銀の単位格子では、立方体の各面の中心、および各頂点に原子が配列しており、この結晶格子は面心立方格子とよばれる。なお、多くの金属の結晶格子は、体心立方格子、面心立方格子、六方最密構造のいずれかに分類される。カリウムは体心立方格子、マグネシウムは六方最密構造をとっている。

体心立方格子



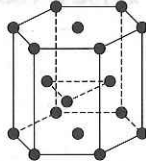
カリウム

面心立方格子



銀

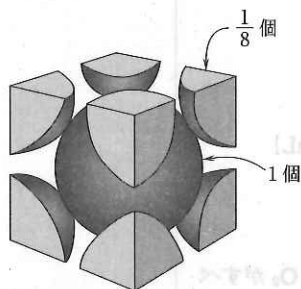
六方最密構造



マグネシウム

② 誤り。面心立方格子と六方最密構造は、同じ大きさの球を最も密に詰めた最密構造である。一方、体心立方格子は最密構造よりややすき間の割合が多い構造である。したがって、銀(とマグネシウム)の結晶は最密構造だが、カリウムの結晶は最密構造ではない。

③ 正しい。体心立方格子では、単位格子に2個の原子が含まれる。

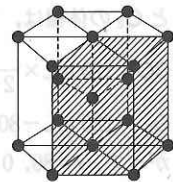


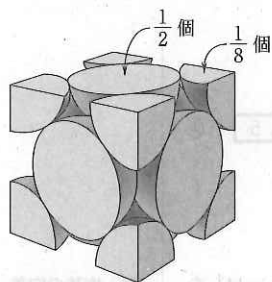
$$\frac{1}{8} \times 8 + 1 \times 1 = 2$$

④ 正しい。面心立方格子では、単位格子に4個の原子が含まれる。

結晶格子と単位格子

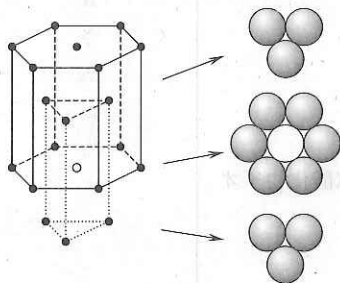
結晶中の粒子の立体的な配列構造を結晶格子といい、その最小の繰り返し単位を単位格子という。図2において、カリウムと銀は、それぞれの単位格子を表している。なお、六方最密構造の単位格子は、次の図の斜線の部分である。





$$\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$$

⑥ 正しい。最密構造では、1個の原子は12個の原子と接している。六方最密構造では、○で示した原子は同じ層内の6個の原子と接している。また、3個の原子からできた^{くぼ}みの上下の位置に原子が積み重なるので、同じ層の6個、上の3個、下の3個の合計12個の原子と接しており、配位数は12である。



4...②

b 体心立方格子の単位格子(図 i)の ABCD による断面図が 図 ii である。

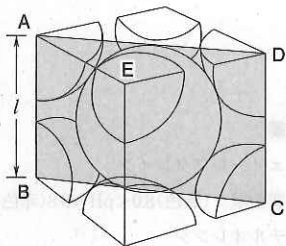


図 i

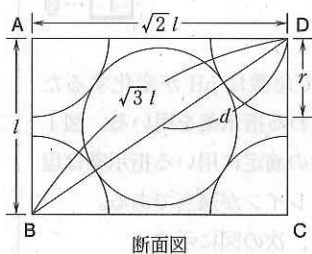


図 ii

図 i において、三平方の定理から、

$$AD^2 = AE^2 + ED^2 = l^2 + l^2 = 2l^2$$

$$AD = \sqrt{2}l$$

図 ii において、三平方の定理から、

$$BD^2 = AB^2 + AD^2 = l^2 + 2l^2 = 3l^2$$

$$BD = \sqrt{3}l$$

隣り合う、すなわち互いに接する原子どうしの中心間距離を d とすると、

$$d = \frac{BD}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}l$$

なお、原子半径を r とすると、 $d=2r$ であり、

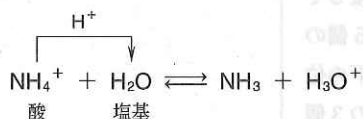
$$r = \frac{d}{2} = \frac{\sqrt{3}}{4} l$$

5 ... ④

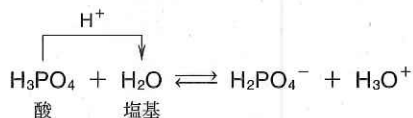
第3問 酸と塩基、酸化還元

問1 酸と塩基

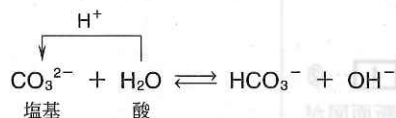
a で H_2O は、アンモニウムイオン NH_4^+ から水素イオン H^+ を受け取りオキソニウムイオン H_3O^+ になるので、 H_2O は塩基としてはたらく。



b で H_2O は、リン酸 H_3PO_4 から H^+ を受け取り H_3O^+ になるので、 H_2O は塩基としてはたらく。



c で H_2O は、炭酸イオン CO_3^{2-} に H^+ を与えて水酸化物イオン OH^- になるので、 H_2O は酸としてはたらく。



よって、 H_2O が酸としてはたらく反応は c のみである。

1 ... ③

問2 中和滴定の指示薬、電離度

a 中和滴定では、中和点の前後で急激に pH が変化するため、中和点前後の pH の変化で色が変わる指示薬を用いる。図1から中和点は塩基性なので、水溶液 X の滴定に用いる指示薬は塩基性側に変色域があるフェノールフタレインが適当である。

この滴定の中和点と指示薬について、次の図に示す。

酸・塩基の定義

アレニウスの定義

酸 … 水中で H^+ を生じる物質

塩基 … 水中で OH^- を生じる物質

ブレンステッド・ローリーの定義

酸 … H^+ を与える分子やイオン

塩基 … H^+ を受け取る分子やイオン

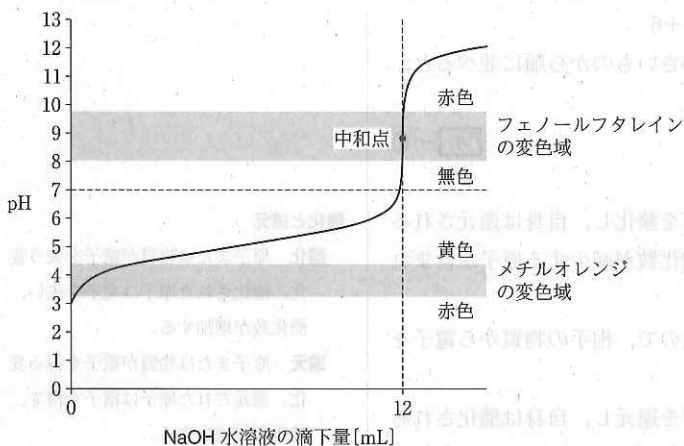
指示薬

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)



フェノールフタレインを用いて水溶液 X を滴定すると、中和点の前後で水溶液は無色から淡赤色へと変化する。

2 …⑥

b 図 1 から水溶液 X 10 mL に NaOH 水溶液 12 mL を滴下したときが中和点となっている。X 中の HA のモル濃度を C [mol/L] とすると、

$$1 \times C \text{ [mol/L]} \times \frac{10}{1000} \text{ L} = 1 \times 0.10 \text{ mol/L} \times \frac{12}{1000} \text{ L}$$

$$C = 0.12 \text{ mol/L}$$

水溶液 X の pH は 3 であり、 $[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ である。

よって、水溶液 X 中の HA の電離度を α とすると、

$$0.12 \text{ mol/L} \times \alpha = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\alpha = 0.00833 \approx 0.0083$$

なお、水溶液 X 中では 1 価の弱酸 HA が一部電離した(1)式の電離平衡が成立している。



水溶液 X に塩基である NaOH 水溶液を加えると、中和反応により H^+ が減少するので、(1)式の反応が正反応の方向に進み、 H^+ が生じて新たな平衡状態となる。塩基を加えるたびにこのような反応が繰り返されて、弱酸である HA は最終的にすべて電離して中和される。

3 …⑩

問 3 酸化数

a ~ c の下線の原子の酸化数をそれぞれ x とすると、

a $\text{H}_2\underline{\text{S}}$ $(+1) \times 2 + x = 0 \quad x = -2$

b $\text{K}\underline{\text{ClO}_3}$ は、 K^+ と ClO_3^- からなる化合物であり、 $\underline{\text{ClO}_3^-}$ について、

$$x + (-2) \times 3 = -1 \quad x = +5$$

c $\text{K}_2\underline{\text{Cr}_2\text{O}_7}$ は、 K^+ と $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ からなる化合物であり、 $\underline{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}}$ について、

中和反応の量的関係

$$\begin{aligned} & \text{酸が放出する } \text{H}^+ \text{ の物質量 [mol]} \\ & = \text{塩基が放出する } \text{OH}^- \text{ の物質量 [mol]} \\ & \quad (\text{塩基が受け取る } \text{H}^+ \text{ の物質量 [mol]}) \end{aligned}$$

すなわち、

$$\begin{aligned} & \text{酸の価数} \times \text{酸の物質量 [mol]} \\ & = \text{塩基の価数} \times \text{塩基の物質量 [mol]} \end{aligned}$$

水素イオン濃度と pH

$$[\text{H}^+] = 1 \times 10^{-n} \text{ [mol/L]} \text{ のとき、}$$

$$\text{pH} = n$$

電離度

電離度 α

$$= \frac{\text{電離した酸または塩基の物質量}}{\text{溶かした酸または塩基の物質量}}$$

モル濃度が c [mol/L] の 1 価の酸の場合、 $[\text{H}^+] = c\alpha$ [mol/L]

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

$$x \times 2 + (-2) \times 7 = -2 \quad x = +6$$

下線を付した原子の酸化数を、小さいものから順に並べると、

$$a < b < c$$

4 ... ①

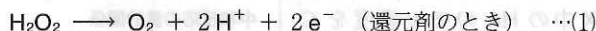
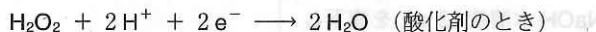
問4 酸化還元反応

① 正しい。酸化剤は相手の物質を酸化し、自身は還元される物質である。よって、酸化剤には酸化数が減少する原子が含まれる。

② 正しい。酸化剤は還元されるので、相手の物質から電子を受け取る反応を起こす。

③ 正しい。還元剤は相手の物質を還元し、自身は酸化される物質である。このとき、相手の物質に電子を与える反応を起こし、還元剤に含まれる原子の酸化数は増加する。

④ 正しい。過酸化水素 H_2O_2 は次のように酸化剤としても還元剤としてもはたらくことができる。

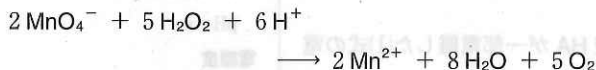


④の反応では H_2O_2 が反応して酸素 O_2 が発生するので、 H_2O_2 は還元剤としてはたらく。

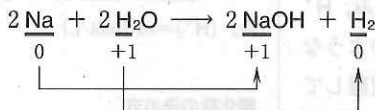
なお、過マンガン酸イオン MnO_4^- は硫酸酸性水溶液中で酸化剤としてはたらく、マンガン(II)イオン Mn^{2+} に変化する。



よって、硫酸酸性水溶液中での MnO_4^- と H_2O_2 の反応(イオン反応式)は、(2)式 $\times 2 +$ (1)式 $\times 5$ より、



⑤ 誤り。ナトリウムの単体 Na は水と反応し、水素 H_2 を発生しながら溶解する。この反応における酸化数の変化を次に示す。



よって、 Na は酸化されており、還元剤としてはたらく。

5 ... ⑤

酸化と還元

酸化 原子または物質が電子を失う変化。酸化された原子は電子を失い、酸化数が増加する。

還元 原子または物質が電子を得る変化。還元された原子は電子を得て、酸化数が減少する。

酸化剤と還元剤

酸化剤 相手を酸化する物質。自らは還元され、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。自らは酸化され、酸化数が増加する原子を含む。

第4問 気体、蒸気圧

問1 気体の状態方程式

気体のモル質量を M [g/mol] とすると、理想気体の状態方程式より、

$$\begin{aligned} 8.3 \times 10^4 \text{ Pa} \times 1.55 \text{ L} \\ = \frac{1.4 \text{ g}}{M \text{ [g/mol]}} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times (273 + 37) \text{ K} \\ M = 28 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

よって、この気体は分子量が 28 の N_2 窒素である。

1 ... ④

問2 気体の法則

① 誤り。一定物質量の気体では、圧力が一定のとき、体積は絶対温度に比例する(シャルルの法則)。よって、 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、 100°C のときの体積を V [L]、 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、 200°C のときの体積を V' [L] とすると、

$$\begin{aligned} \frac{V \text{ [L]}}{(273 + 100) \text{ K}} &= \frac{V' \text{ [L]}}{(273 + 200) \text{ K}} \\ \frac{V' \text{ [L]}}{V \text{ [L]}} &= \frac{473 \text{ K}}{373 \text{ K}} \doteq 1.27 \end{aligned}$$

よって、 V' [L] は V [L] の 1.27 倍になる。

② 正しい。一定物質量の気体では、温度が一定のとき、体積は圧力に反比例する(ボイルの法則)。よって、 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、 27°C のときの体積を V [L]、 $3.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、 27°C のときの体積を V' [L] とすると、

$$\begin{aligned} 1.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times V \text{ [L]} &= 3.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times V' \text{ [L]} \\ \frac{V' \text{ [L]}}{V \text{ [L]}} &= \frac{1.0 \times 10^5 \text{ Pa}}{3.0 \times 10^5 \text{ Pa}} = \frac{1}{3} \end{aligned}$$

よって、 V' [L] は V [L] の $\frac{1}{3}$ 倍になる。

③ 正しい。一定物質量の気体では、圧力は絶対温度に比例し、体積に反比例する(ボイル・シャルルの法則)。よって、 27°C 、 1.5 L のときの圧力を p [Pa]、 127°C 、 4.0 L のときの圧力を p' [Pa] とすると、

$$\begin{aligned} \frac{p \text{ [Pa]} \times 1.5 \text{ L}}{(273 + 27) \text{ K}} &= \frac{p' \text{ [Pa]} \times 4.0 \text{ L}}{(273 + 127) \text{ K}} \\ \frac{p' \text{ [Pa]}}{p \text{ [Pa]}} &= \frac{400 \text{ K}}{300 \text{ K}} \times \frac{1.5 \text{ L}}{4.0 \text{ L}} = \frac{1}{2} \end{aligned}$$

よって、 p' [Pa] は p [Pa] の $\frac{1}{2}$ 倍になる。

④ 正しい。理想気体の状態方程式より、同じ気体の密度 [g/L] は、温度が一定のとき、圧力に比例する。

$$\text{密度} = \frac{w}{V} = \frac{PM}{RT} \text{ [g/L]}$$

よって $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ のときの密度 [g/L] は、 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ のときの密度 [g/L] の 2 倍になる。

理想気体の状態方程式と気体の密度

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

また、気体の質量を w [g]、気体のモル質量を M [g/mol] とすると、

$$pV = \frac{w}{M} RT \text{ より、}$$

$$\text{密度} = \frac{w}{V} = \frac{PM}{RT} \text{ [g/L]}$$

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。

$$\frac{pV}{T} = \text{一定}$$

⑤ 正しい。水素 H_2 2.0 g, ヘリウム He 4.0 g の物質量はともに 1.0 mol である。アボガドロの法則より, 同温・同圧において物質量が同じであれば, 気体の種類に関係なく, 体積も同じ値になる。

2 ... ①

問3 混合気体

コックを開いた後の酸素の分圧, 窒素の分圧をそれぞれ P_{O_2} [Pa], P_{N_2} [Pa] とすると, 酸素について, ボイルの法則より,

$$3.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times 2.0 \text{ L} = P_{\text{O}_2} [\text{Pa}] \times (2.0 + 3.0) \text{ L}$$

$$P_{\text{O}_2} = 1.2 \times 10^5 \text{ Pa}$$

同様に, 窒素についてボイルの法則より,

$$1.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times 3.0 \text{ L} = P_{\text{N}_2} [\text{Pa}] \times (2.0 + 3.0) \text{ L}$$

$$P_{\text{N}_2} = 6.0 \times 10^4 \text{ Pa}$$

よって, コックを開いた後の容器内の圧力(全圧)は, ドルトンの分圧の法則より,

$$P_{\text{O}_2} + P_{\text{N}_2} = 1.2 \times 10^5 \text{ Pa} + 6.0 \times 10^4 \text{ Pa} = 1.8 \times 10^5 \text{ Pa}$$

3 ... ③

問4 飽和蒸気圧

$1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ のもとで 450 mL の窒素をエタノールに通じることにより, エタノールの蒸気が飽和した窒素との混合気体 500 mL となっている。このとき, 窒素の物質量は変化しないので, 混合気体中の窒素の分圧を P_{N_2} [Pa] とすると, ボイルの法則より,

$$1.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times \frac{450}{1000} \text{ L} = P_{\text{N}_2} [\text{Pa}] \times \frac{500}{1000} \text{ L}$$

$$P_{\text{N}_2} = 9.0 \times 10^4 \text{ Pa}$$

捕集した混合気体の全圧は $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ なので, エタノールの飽和蒸気圧は, ドルトンの分圧の法則より,

$$\begin{aligned} 1.0 \times 10^5 \text{ Pa} - P_{\text{N}_2} [\text{Pa}] &= 1.0 \times 10^5 \text{ Pa} - 9.0 \times 10^4 \text{ Pa} \\ &= 1.0 \times 10^4 \text{ Pa} \end{aligned}$$

4 ... ②

第5問 溶液

問1 物質の溶解

① 正しい。硫酸ナトリウム十水和物 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ を十分な水に溶かして得られる水溶液は硫酸ナトリウム水溶液であり, その溶媒は水 H_2O , 溶質は硫酸ナトリウム Na_2SO_4 である。

なお, 水和物を水に溶かすと, 水和水の水分子も溶媒の一部になる。

② 正しい。酢酸 CH_3COOH は弱電解質であり, 水溶液中で一部が電離して酢酸イオン CH_3COO^- として存在する。そのため, 水溶液中には酢酸分子 CH_3COOH と酢酸イオン CH_3COO^- が共存する。なお, 酢酸の電離は次のイオン反応式で表される。

アボガドロの法則

同温・同圧のもとで, 同じ体積の気体には, 気体の種類によらず, 同じ数の分子が含まれる。

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。

ドルトンの分圧の法則 全圧は混合気体の分圧の総和に等しい。

飽和蒸気圧

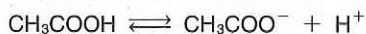
液体とその蒸気が共存して気液平衡の状態にあるとき, 蒸気の示す圧力を飽和蒸気圧という。

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。

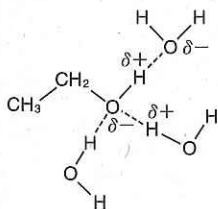
溶液

液体(溶媒)に他の物質(溶質)を溶かして得られる均一な液体混合物を溶液という。溶媒が水である溶液は特に水溶液という。

溶液 $\left\{ \begin{array}{l} \text{溶媒} \cdots \text{溶かしている液体} \\ \text{溶質} \cdots \text{溶けている物質} \end{array} \right.$

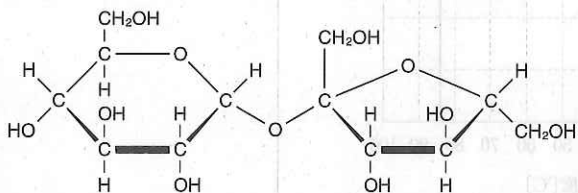


③ 正しい。水分子 H_2O 中で、電気陰性度の大きい酸素原子 O はいくらか負の電荷を、電気陰性度の小さい水素原子 H はいくらか正の電荷を帯びている。同様に、エタノール分子 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ のヒドロキシ基 $-\text{OH}$ 中でも、 O はいくらか負の電荷を、 H はいくらか正の電荷を帯びている。そのため、水 H_2O にエタノール $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ を加えると、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ の $-\text{OH}$ 中の O には H_2O 中の H が、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ の $-\text{OH}$ 中の H には H_2O 中の O が水素結合により結びつき、エタノールは水和されて、均一な溶液になる。

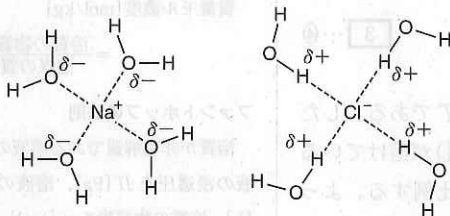


(----は水素結合を表す)

④ 正しい。スクロース $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ は、分子内に親水性のヒドロキシ基 $-\text{OH}$ を多数もつため、エタノールと同様、水に溶けやすい。なお、スクロースの構造は、次の図のように表される。



⑤ 誤り。塩化ナトリウム NaCl は電解質であり、水溶液中ではナトリウムイオン Na^+ と塩化物イオン Cl^- に電離する。水分子 H_2O 中で、電気陰性度の大きい酸素原子 O はいくらか負の電荷を、電気陰性度の小さい水素原子 H はいくらか正の電荷を帯びている。よって、陽イオンである Na^+ は H_2O 中の O と、陰イオンである Cl^- は H_2O 中の H と静電気力により結びつき、水和イオンを形成する。



(----は静電気力による結びつきを表す)

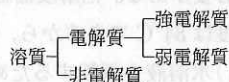
1...⑤

問2 固体の溶解度と溶液の調製

質量パーセント濃度が 37.5 % の硫酸銅(II)水溶液について、この水溶液 100 g 当りに含まれる硫酸銅(II) CuSO_4 は 37.5 g、水 H_2O は $(100-37.5)=62.5$ g であるから、 H_2O 100 g 当りに溶

電解質と非電解質

水に溶けたとき、電離(陽イオンと陰イオンに分かれる現象)する物質を電解質、水に溶けたとき電離しない物質を非電解質という。電解質のうち、完全に電離する物質を強電解質、一部のみが電離する物質を弱電解質という。



水和

水溶液中で、溶質粒子が水分子と結びつく現象を水和といい、水和している状態のイオンを水和イオンという。

質量パーセント濃度

溶液 100 g 当りに溶けている溶質の質量 [g] で表した濃度。

質量パーセント濃度 [%]

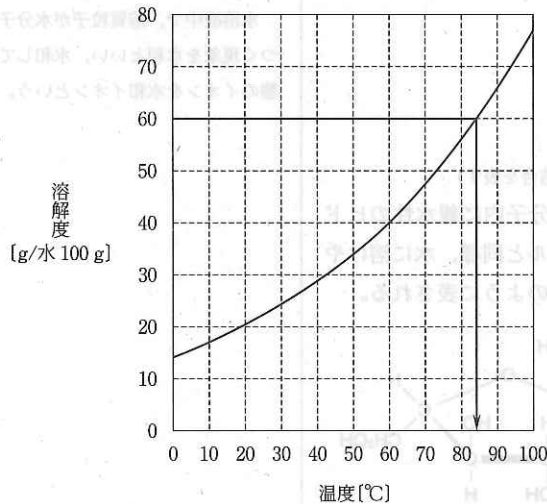
$$= \frac{\text{溶質の質量 [g]}}{\text{溶液の質量 [g]}} \times 100$$

けている CuSO_4 の質量を s [g] とすると、

$$\frac{s \text{ [g]}}{100 \text{ g} + s \text{ [g]}} = \frac{37.5 \text{ g}}{100 \text{ g}} \quad \text{または} \quad \frac{s \text{ [g]}}{100 \text{ g}} = \frac{37.5 \text{ g}}{62.5 \text{ g}}$$

$$s = 60 \text{ g}$$

したがって、質量パーセント濃度が 37.5 % の硫酸銅(II)水溶液を調製するためには、溶解度が 60 [g/水 100 g] 以上である温度に保つ必要がある。溶解度曲線より、溶解度が 60 [g/水 100 g] である温度は 84 °C であるから、質量パーセント濃度が 37.5 % の硫酸銅(II)水溶液を調製するためには、溶液の温度を 84 °C 以上に保てばよいことがわかる。



2 ... ④

問3 生理食塩水の質量モル濃度

水 500 mL (=500 cm³) の質量は、1.0 g/cm³ × 500 cm³ = 500 g = 0.500 kg であるから、求める生理食塩水 (NaCl のモル質量は 58.5 g/mol) の質量モル濃度は、

$$\frac{4.5 \text{ g}}{\frac{58.5 \text{ g/mol}}{0.500 \text{ kg}}} = 0.153 \text{ mol/kg} \doteq 1.5 \times 10^{-1} \text{ mol/kg}$$

3 ... ④

問4 浸透圧法による分子量の測定

ファンツホッフの法則より、 $\Pi V = nRT = \frac{w}{M} RT$ である。したがって、同温・同体積で、同質量の溶質 (非電解質) が溶けている溶液では、溶液の浸透圧 Π は、溶質の物質質量に比例する。よって、求める非電解質 X の分子量を M_X とすると、

$$2.4 \times 10^4 \text{ Pa} : 8.0 \times 10^3 \text{ Pa} = \frac{0.12 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} : \frac{0.12 \text{ g}}{M_X \text{ [g/mol]}}$$

$$M_X = 180$$

4 ... ⑤

質量モル濃度

溶媒 1 kg 当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]

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

ファンツホッフの法則

溶質が非電解質である溶液の場合、溶液の浸透圧を Π [Pa]、溶液の体積を V [L]、溶質の物質質量を n [mol]、絶対温度を T [K]、気体定数を R [Pa·L/(K·mol)] とすると、次式が成り立つ。これをファンツホッフの法則という。

$$\Pi V = nRT$$

第6問 化学反応と熱、電池、電気分解

問1 化学反応と熱

① 正しい。メタン(気)の生成熱を Q_1 [kJ/mol] とすると、その熱化学方程式は、

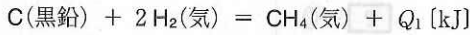


図1より、 $Q_1=75$ kJ/mol である。

② 誤り。二酸化炭素(気)の生成熱を Q_2 [kJ/mol] とすると、その熱化学方程式は、



図1より、 $Q_2=(75+319)$ kJ/mol = 394 kJ/mol である。

③ 正しい。水(液)の生成熱を Q_3 [kJ/mol] とすると、その熱化学方程式は、

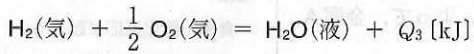


図1より、 $Q_3 = \frac{572 \text{ kJ}}{2 \text{ mol}} = 286$ kJ/mol である。

④ 正しい。メタン(気)の燃焼熱を Q_4 [kJ/mol] とすると、その熱化学方程式は、

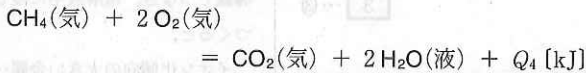
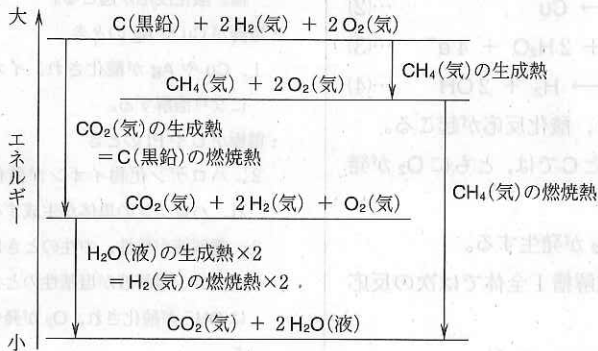


図1より、 $Q_4=(319+572)$ kJ/mol = 891 kJ/mol である。

⑤ 正しい。黒鉛の燃焼熱は、二酸化炭素(気)の生成熱に等しいので、394 kJ/mol である。

なお、反応熱を図にまとめると、次のように表される。



1 ... ②

問2 状態変化と熱

20℃の液体の水 9.0 g をすべて 100℃の水蒸気にするには、20℃の水 9.0 g を 100℃の水にした後、100℃の水 9.0 g をすべて蒸発させればよい。

20℃の水 9.0 g を 100℃の水にするために必要な熱量は、

$$4.2 \text{ J/(g}\cdot\text{K)} \times 9.0 \text{ g} \times (100-20)\text{K} = 3024 \text{ J} \approx 3.0 \text{ kJ}$$

100℃の水 H₂O(18 g/mol) 9.0 g の物質量は、

$$\frac{9.0 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 0.50 \text{ mol}$$

生成熱

化合物 1 mol が成分元素の単体から生成するときの反応熱。

燃焼熱

物質 1 mol が完全燃焼するときの反応熱。燃焼は発熱反応である。

比熱

物質 1 g の温度を 1 K 上昇させるのに必要な熱量 [J/(g·K)]。

温度を上げるときに必要な熱量は、

$$\text{熱量 [J]} = \text{比熱 [J/(g}\cdot\text{K)]}$$

$$\times \text{質量 [g]} \times \text{温度変化 [K]}$$

蒸発熱

物質 1 mol を蒸発させるために必要な熱量。

であり、これをすべて水蒸気にするために必要な熱量は、

$$41 \text{ kJ/mol} \times 0.50 \text{ mol} = 20.5 \text{ kJ}$$

よって、求める熱量は、

$$3.0 \text{ kJ} + 20.5 \text{ kJ} = 23.5 \text{ kJ} = 24 \text{ kJ}$$

2 ... ②

問3 電池

一般に、2種類の金属とその塩の水溶液を用いた電池では、イオン化傾向の大きい方の金属が負極に、イオン化傾向の小さい方の金属が正極になる。また、2種類の金属のイオン化傾向の差が大きいほど、起電力が大きくなる。

金属Aが負極、金属Bが正極になったので、イオン化傾向はA > Bである。また、イオン化傾向はZn > Ni > Cuなので、ZnとCuを組合せた電池の起電力が最も大きくなる。よって、金属AはZn、金属BはCuである。

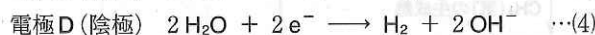
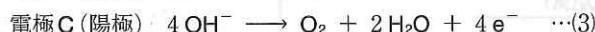
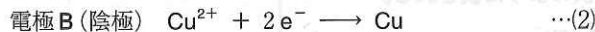
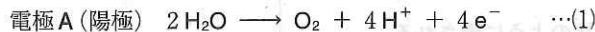
なお、この電池の各電極では、次の反応が起こる。



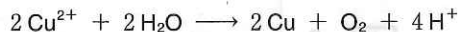
3 ... ③

問4 電気分解

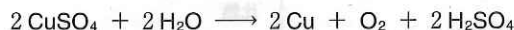
電源の正極側に接続されている電極AとCが陽極、負極側に接続されている電極BとDが陰極である。各電極では、次の反応が起こる。



- a ① 正しい。電極Aは陽極であり、酸化反応が起こる。
② 正しい。(1)式、(3)式より、電極AとCでは、ともにO₂が発生する。
③ 誤り。(4)式より、電極Dでは、H₂が発生する。
④ 正しい。(1)式+(2)式×2より、電解槽I全体では次の反応が起こる。

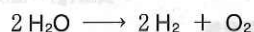


両辺に2SO₄²⁻を足すと、



水溶液の体積は変化しないので、CuSO₄のモル濃度は小さくなる。

⑤ 正しい。(3)式+(4)式×2より、電解槽II全体では次の反応(水の電気分解)が起こる。

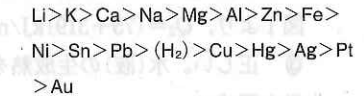


よって、水溶液中のNaOHの物質量は変化しない。

4 ... 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。



電池

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e⁻は負極から正極へ移動し、電流は正極から負極に流れる。

イオン化傾向の異なる2種類の金属を導線でつなぎ、電解液中に浸して電池をつくると、

イオン化傾向の大きい金属…負極

イオン化傾向の小さい金属…正極

水溶液の電気分解

陽極…外部電源の正極とつないだ電極。酸化反応が起こる。

・電極がCuやAgのとき

1. CuやAgが酸化され、イオンになり溶解する。

・電極がCやPtのとき

2. ハロゲン化物イオンが酸化され、ハロゲンの単体が生成する。

3. 電解液が酸性、中性のときにはH₂Oが、電解液が塩基性のときにはOH⁻が酸化され、O₂が発生する。

陰極…外部電源の負極とつないだ電極。還元反応が起こる。

1. 電解液中のAg⁺やCu²⁺が還元され、AgやCuが析出する。

2. 電解液が中性、塩基性のときにはH₂Oが、電解液が酸性のときにはH⁺が還元され、H₂が発生する。

b (2)式より、電極BではCuが析出するため、電気分解により電極Bの質量は増加する。Cuの析出量は、流れた電子 e^- の物質量に比例するので、電極Bの質量変化は、流した電気量に比例する。

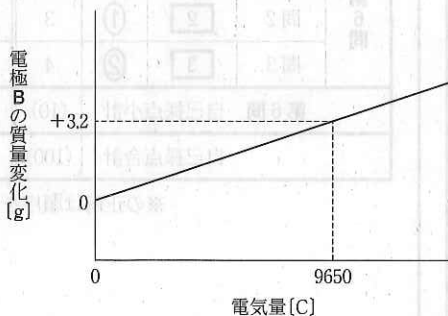
例えば、流した電気量が9650 C、すなわち、 e^- の物質量が、

$$\frac{9650 \text{ C}}{9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}} = 0.10 \text{ mol}$$

のとき、析出したCu(64 g/mol)の質量は、(2)式より、

$$64 \text{ g/mol} \times 0.10 \text{ mol} \times \frac{1}{2} = 3.2 \text{ g}$$

よって、電気量が9650 Cのとき、電極Bの質量変化は+3.2 gとなり、②のグラフが適する。



5 ... ②

ファラデー定数 [C/mol]

電子 1 mol のもつ電気量の絶対値。

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