

クラス		受験番号		解答用紙番号・コード ※解答用紙冊子記載の番号とコードを転記してください。			
出席番号		氏名					

2021年度 第1回 全統共通テスト模試

学習の手引き【解答・解説集】

数 学 ・ 理 科

模擬試験の問題および解答解説は著作物であり、著作権法およびその他の法律で保護されています。法律上で認められている範囲を超えて、無断でコピーしたり、WEB上に掲載したりするなどの行為ならびに、その他厳正な試験の運営を妨げる行為を固く禁止します。

• 数 学

数学①

数学Ⅰ	1
数学Ⅰ・数学A	11

数学②

数学Ⅱ	27
数学Ⅱ・数学B	34

• 理 科

理科①

物理基礎	50
化学基礎	58
生物基礎	68
地学基礎	75

理科②

物理	85
化学	96
生物	119
地学	135

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。

📖 **模試ナビ** を使って、効率的に模試の復習を行うことができます。詳しくは裏表紙をご覧ください。

河合塾



2160610119502140

化学

【解答・採点基準】

(100点満点)

問題番号	設問	解番号	正解	配点	自己採点	
第1問	問1	a	①	③	3	
		b	②	④	3	
	問2	a	③	⑥	4	
		b	④	⑥	2	※1
			⑤	⑦	2	
	問3	a	⑥	③	3	
		b	⑦	②	4	
	第1問 自己採点小計				(21)	
	第2問	問1	a	⑧	③	3
b			⑨	⑤	4	
c			⑩	④	4	
問2		a	⑪	④	3	
		b	⑫	①	3	
		c	⑬	②	4	
第2問 自己採点小計				(21)		
第3問	問1	a	⑭	②	4※2	
			⑮	①		
			⑯	②		
	b	⑰	②	4		
	問2	⑱	③	3		
	問3	⑲	③	4		
	問4	a	⑳	②	4	
b		㉑	②	3		
第3問 自己採点小計				(22)		

(注)

※1 は、正解の順序を問わない。

※2 は、全部正解の場合に点を与える。

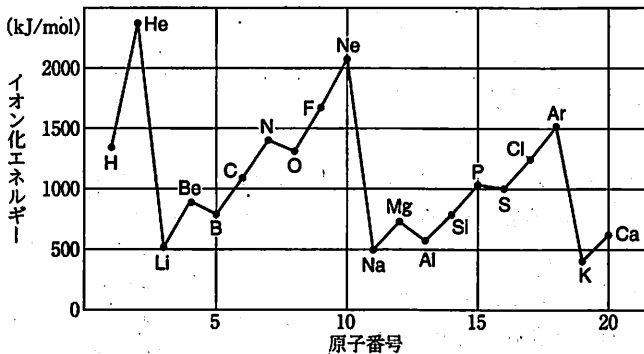
問題番号	設問	解番号	正解	配点	自己採点
第4問	問1	㉒	②	3	
	問2	a	㉓	⑤	4
		b	㉔	②	4
	問3	a	㉕	④	3
		b	㉖	④	4
	問4	㉗	⑥	4	
	第4問 自己採点小計				(22)
第5問	問1	a	㉘	③	3
		b	㉙	①	3
	問2	a	㉚	③	4
		b	㉛	④	4
第5問 自己採点小計				(14)	
自己採点合計				(100)	

【解説】

第1問 物質の構成, 結晶

問1 元素の性質, 物質の構成

原子のイオン化エネルギーは周期的に変化し, 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, 左下に位置する元素ほどイオン化エネルギーが小さくなる傾向にある。同一周期では1族の元素が最も小さく, 18族の元素が最も大きい。また, 18族の元素に比べて次の周期の1族の元素のイオン化エネルギーはかなり小さくなる。したがって, 表1中でイオン化エネルギーが最も大きいのは貴ガス元素と考えられる。なお, 原子番号1~20までの元素について, 原子のイオン化エネルギーは次のグラフで表される。



電子親和力は, 同一周期では17族のハロゲン元素が最も大きい。したがって, 表1中で電子親和力が最も大きいのはハロゲン元素と考えられる。

ハロゲン元素には ${}_{9}\text{F}$, ${}_{17}\text{Cl}$ など, 貴ガス元素には ${}_{2}\text{He}$, ${}_{10}\text{Ne}$, ${}_{18}\text{Ar}$ などがあり, $Z \leq 13$ より, イ(原子番号 $Z+1$)は ${}_{9}\text{F}$, ウ(原子番号 $Z+2$)は ${}_{10}\text{Ne}$ である。したがって, $Z=8$ であり, ア~クのその他の元素も次のように決まる。

	イオン化エネルギー (kJ/mol)	電子親和力 (kJ/mol)	融点 (°C)	沸点 (°C)
ア ${}_{8}\text{O}$	1314	141	-218	-183
イ ${}_{9}\text{F}$	1681	328	-220	-188
ウ ${}_{10}\text{Ne}$	2081	<0*	-249	-246
エ ${}_{11}\text{Na}$	496	53	98	883
オ ${}_{12}\text{Mg}$	738	<0*	649	1090
カ ${}_{13}\text{Al}$	578	43	660	2470
キ ${}_{14}\text{Si}$	787	134	1410	2360
ク ${}_{15}\text{P}$	1012	72	44	280

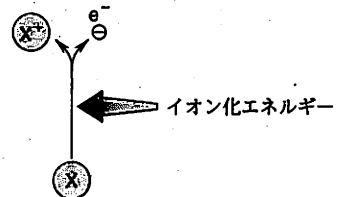
* 2族および18族元素の原子の電子親和力は負の値であることが知られて

【ポイント】

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。

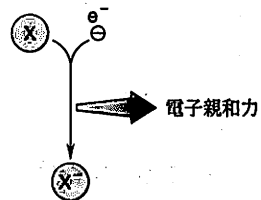
同一周期では, 1族の原子の値が最も小さく, 18族の原子の値が最も大きい。



電子親和力

原子が電子1個を取り入れて, 1価の陰イオンになるときに放出するエネルギー。電子親和力が大きい原子ほど陰イオンになりやすい。

同一周期では, ハロゲン(17族)の原子の値が最も大きい。



いるが、正確な値は確定していない。

a 表1中の元素のうち、単体が25℃、 1.013×10^5 Paで気体であるものは、沸点が25℃より低いア、イ、ウ(それぞれの単体は酸素 O_2 、フッ素 F_2 、ネオン Ne)である。なお、酸素の同素体であるオゾン O_3 も25℃、 1.013×10^5 Paで気体である。また、エ〜クのエの単体は、いずれも融点が25℃より高いので、25℃、 1.013×10^5 Paで固体である。

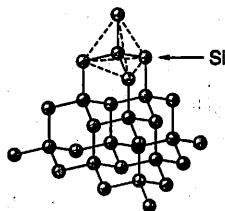
1...③

b ① 正しい。アとエからなる化合物として、イオン結晶である酸化ナトリウム Na_2O が存在し、酸化物イオン O^{2-} とナトリウムイオン Na^+ が1:2の数の比で含まれる。

② 正しい。イの単体であるフッ素 F_2 は、2個のフッ素原子が共有結合で結びついた二原子分子である。

③ 正しい。ウのネオン Ne を含め貴ガス元素の原子は、安定な電子配置をもち、陽イオンにも陰イオンにもなりにくい。(したがって、イオン化エネルギーは非常に大きく、電子親和力は非常に小さい。)

④ 誤り。キの単体であるケイ素 Si の結晶は、多数のケイ素原子 Si が共有結合で次々と結びついた共有結合結晶である。なお、ケイ素の結晶は、1個の原子が4個の原子と結びついた正四面体形の構造が三次元的に繰り返された立体構造をもつ。共有結合は結合力が強いので、ケイ素も含め共有結合結晶は融点が非常に高い。



ケイ素

⑤ 正しい。クのリン P の単体には、黄リン、赤リンなどの同素体が存在する。

2...④

問2 分子と多原子イオン

分子や多原子イオン中の原子は、貴ガス元素の原子と同じ電子配置をとることが多い。この場合、各原子の最外殻電子の数は8(電子対の数は4組)になる。ただし、水素原子 H はヘリウム原子 He と同じ電子配置をとり、最外電子殻(最外殻)が K 殻のため、最外殻電子の数は2(電子対の数は1組)になる。このとき、共有電子対の総数について、問題文で示された次の関係が成り立つ。

分子や多原子イオンを構成する原子について、

$$2 \times (\text{水素原子の数}) + 8 \times (\text{水素を除く原子の数}) = a$$

単体の状態(25℃、 1.013×10^5 Pa)

気体 H_2 , N_2 , $O_2(O_3)$, F_2 , Cl_2 ,
貴ガス(He , Ne , Ar など)

液体 Br_2 , Hg

固体 上記以外の単体

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。金属元素と非金属元素からなる化合物はイオン結晶として存在する場合が多い。イオン結晶を構成する陽イオンと陰イオンについて、次の関係が成り立つ。

$$(\text{陽イオンの価数}) \times (\text{陽イオンの数}) \\ = (\text{陰イオンの価数}) \times (\text{陰イオンの数})$$

共有結合結晶(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。(ダイヤモンド C 、黒鉛 C 、ケイ素 Si 、二酸化ケイ素 SiO_2 など)

融点が高く非常に硬い。また、電気を導かない。(黒鉛は軟らかく、電気を導く。また、ケイ素は半導体である。)

共有結合

2個の原子の間で電子対を共有しあう結合。共有されている電子対を共有電子対といい、共有されていない電子対を非共有電子対という。

同素体

同じ元素からなる単体で性質が異なるものどうしを、互いに同素体という。

C...ダイヤモンド、黒鉛、フラーレン

O...酸素、オゾン

P...黄リン、赤リン

S...斜方硫黄、単斜硫黄、ゴム状硫黄

(原子の最外殻電子の数の総和) = b

とすると、

(共有しあう電子の総数) = $a - b$

(共有電子対の総数) = $(a - b) \times \frac{1}{2}$ (1)

例えば、水分子 H_2O では、

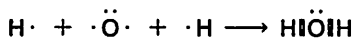
$$a = 2 \times 2 + 8 \times 1 = 12$$

$$b = 1 \times 2 + 6 \times 1 = 8$$

$$a - b = 12 - 8 = 4$$

$$(a - b) \times \frac{1}{2} = 4 \times \frac{1}{2} = 2$$

となり、共有電子対は2組と算出される。実際に H_2O では、1個の酸素原子 O が不対電子を2個、2個の水素原子 H が不対電子を1個ずつ出しあい、合計2組の共有電子対を形成して結びついている。 H_2O 中で、 O はネオン原子 Ne と同じ電子配置をとり、 H は He と同じ電子配置をとる。



(\cdot は不対電子、 || は共有電子対)

共有電子対の電子は、共有しあう2個の原子の双方の最外殻に所属するので、この点において、2回繰り返して数えられることになる。上記の $a - b$ は、分子や多原子イオンを構成する各原子が貴ガス原子と同じ電子配置をとるために、2回繰り返して数える必要のある電子の数を与える。

a メタン分子 CH_4 およびア~エの分子または多原子イオンについて、式(1)に従って共有電子対の総数を算出すると、次の表ようになる。なお、 b を求める際に、ウのアンモニウムイオン NH_4^+ は一価の陽イオンであることから、最外殻電子の数を1個少なくし、また、エの炭酸イオン CO_3^{2-} は二価の陰イオンであることから、最外殻電子の数を2個多くすることに注意する。

CH ₄	$a = 2 \times 4 + 8 \times 1 = 16$ $b = 1 \times 4 + 4 \times 1 = 8$	$(a - b) \times \frac{1}{2} = 8 \times \frac{1}{2} = 4$
ア O ₃	$a = 8 \times 3 = 24$ $b = 6 \times 3 = 18$	$(a - b) \times \frac{1}{2} = 6 \times \frac{1}{2} = 3$
イ C ₂ H ₂	$a = 2 \times 2 + 8 \times 2 = 20$ $b = 1 \times 2 + 4 \times 2 = 10$	$(a - b) \times \frac{1}{2} = 10 \times \frac{1}{2} = 5$
ウ NH ₄ ⁺	$a = 2 \times 4 + 8 \times 1 = 16$ $b = 1 \times 4 + 5 \times 1 - 1 = 8$	$(a - b) \times \frac{1}{2} = 8 \times \frac{1}{2} = 4$
エ CO ₃ ²⁻	$a = 8 \times 4 = 32$ $b = 4 \times 1 + 6 \times 3 + 2 = 24$	$(a - b) \times \frac{1}{2} = 8 \times \frac{1}{2} = 4$

よって、共有電子対の総数がメタン分子 CH_4 と等しいものは、ウとエである。なお、各分子・多原子イオンの構造式および電子

最外殻電子

最外電子殻(最も外側の電子殻)に入っている電子を最外殻電子という。典型元素の原子の最外殻電子の数は、族番号の一の位の数に等しい(ただし、 He は2個)。

貴ガス以外の原子の最外殻電子は、原子がイオンになるときや他の原子と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、貴ガスの原子は、イオンになることや他の原子と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。

不対電子

共有結合を形成する前の対になっていない価電子。 H には1個、 C には4個、 N には3個、 O には2個、 F と Cl には1個の不対電子がある。

電子式

元素記号の周囲に最外殻電子を点(\cdot)で表した化学式。

イオン

含まれる陽子の数と電子の数が異なるため、正の電荷(陽イオン)または負の電荷(陰イオン)をもつ粒子。

陽イオンの価数 = 陽子の数 - 電子の数

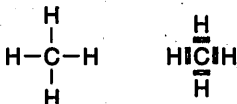
陰イオンの価数 = 電子の数 - 陽子の数

構造式

原子間の共有電子対を線(価標)で表した化学式。

式(電子対の数がH以外の原子は4組, H原子は1組になるように配置する。また, \equiv は共有電子対)は次のようになる。

メタン CH_4



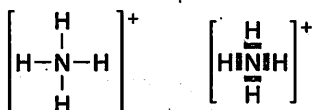
ア オゾン O_3



イ アセチレン C_2H_2



ウ アンモニウムイオン NH_4^+



エ 炭酸イオン CO_3^{2-}



3 ... 6

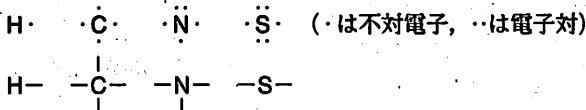
b H, C, N, Sの原子が1個ずつ結びついた分子に含まれる共有電子対の総数を, 式(1)に従って算出すると,

$$a = 2 \times 1 + 8 \times 3 = 26$$

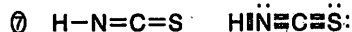
$$b = 1 \times 1 + 4 \times 1 + 5 \times 1 + 6 \times 1 = 16$$

$$(a - b) \times \frac{1}{2} = 10 \times \frac{1}{2} = 5$$

各原子の電子式は次のように表され, 標準的な原子価*はHが1, Cが4, Nが3, Sが2である。



よって, 分子の構造として適当なものは, 次の二つである。



なお, ⑥はチオシアン酸, ⑦はイソチオシアン酸とよばれる。

* 配位結合が含まれる, イオンであるなどの要因により, 分子や多原子イオンが, 標準的な原子価とは異なる原子価をとる原子を含むこともある。aで扱われた O_3 , NH_4^+ , CO_3^{2-} はその例である。

4 ... 6, 5 ... 7 (順不同)

問3 金属の結晶格子

a 結晶中の1個の原子に対して最も近い位置に存在する原子の数を配位数といい, 配位数が大きい結晶ほど原子が密に配列しているため, 充填率*が大きい。ア(体心立方格子), イ(面心立方

原子価

1個の原子から出る価標(共有電子対を表す線)の数。一般に, 原子の不對電子の数に等しい。

配位数

結晶中で, 1個の粒子から最も近い位置にある他の粒子の数を配位数という。

体心立方格子: 8

面心立方格子, 六方最密構造: 12

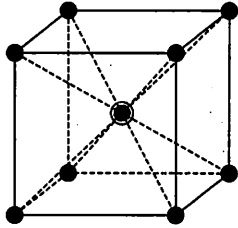
結晶の充填率

充填率

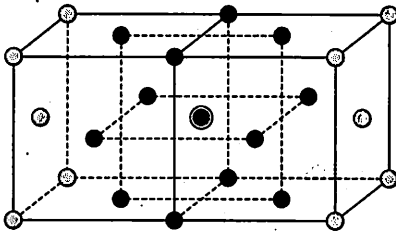
$$= \frac{\text{単位格子中の原子の体積の和}}{\text{単位格子の体積}} \times 100 (\%)$$

子), ウ(六方最密構造)の配位数は, それぞれ次のようになる。

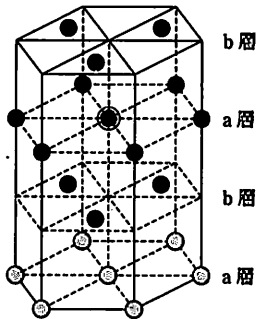
ア(体心立方格子)では, 単位格子(立方体)の中心に位置する●の原子に着目すると, 頂点に位置する●の原子が最近接であり, 体心立方格子の配位数は8である。



イ(面心立方格子)では, 単位格子(立方体)を二つ並べた次の図の●の原子に着目すると, ●の原子が最近接であり, 面心立方格子の配位数は12である。



ウ(六方最密構造)では, 1個の原子に対して6個の原子が最近接に位置する平面構造(a層およびb層)がa層→b層→a層→b層…と交互に積み重なっている。次の図の●の原子に着目すると, ●の原子が最近接であり, 六方最密構造の配位数は12である。



以上より, 配位数および充填率の大小関係は次のようになる。

配位数 $ア < イ = ウ$

充填率 $ア < イ = ウ$

なお, 面心立方格子は立方最密構造ともよばれ, 面心立方格子と六方最密構造は原子が最も密につまった構造である。

(参考) 体心立方格子と面心立方格子の充填率

単位格子の一辺の長さを a とする。また, 原子は半径 r の球とし, 最近接の原子どうしは互いに接するものとする。

単位格子

結晶中の粒子の空間的な配列構造を結晶格子といい, 結晶格子の最小の繰り返し単位を単位格子という。

体心立方格子

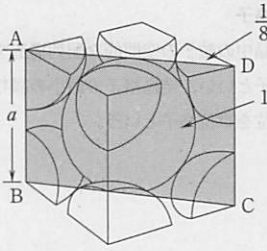


図 i

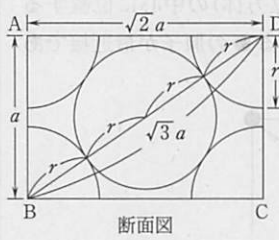


図 ii

図 i より，単位格子に含まれる原子の数は，

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

図 ii より，単位格子の立方体の対角線の長さについて，

$$4r = \sqrt{3} a$$

原子 1 個の体積は $\frac{4\pi r^3}{3}$ と表され，単位格子に着目して充填率を算出すると，

$$\frac{\frac{4\pi r^3}{3} \times 2}{a^3} \times 100 = \frac{8\pi \left(\frac{\sqrt{3}}{4} a\right)^3}{3a^3} \times 100 = \frac{\sqrt{3}\pi}{8} \times 100 \approx 68 \text{ (\%)}$$

面心立方格子

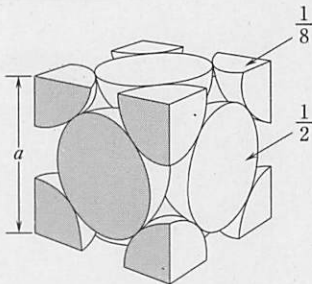


図 iii

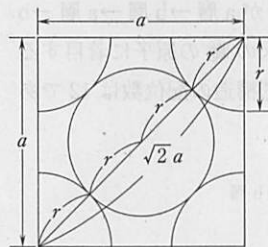


図 iv

図 iii より，単位格子に含まれる原子の数は，

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

図 iv より，単位格子の面の対角線の長さについて，

$$4r = \sqrt{2} a$$

充填率は，

$$\frac{\frac{4\pi r^3}{3} \times 4}{a^3} \times 100 = \frac{16\pi \left(\frac{\sqrt{2}}{4} a\right)^3}{3a^3} \times 100 = \frac{\sqrt{2}\pi}{6} \times 100 \approx 74 \text{ (\%)}$$

なお，六方最密構造の充填率も 74 % である。

6 … ③

b 面心立方格子は，図 2 の立方体の対角線を軸として見ると，六方最密構造と同様の平面構造が層状に積み重なった図 3 に示す配列であることがわかる。

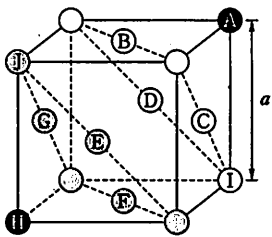


図2

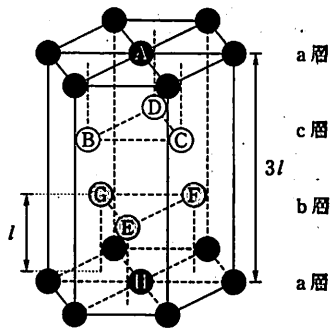
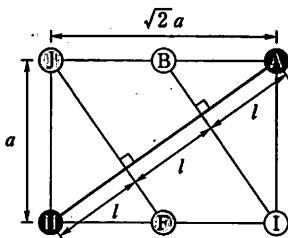


図3

なお、面心立方格子(立方最密構造)では、平面構造がa層→b層→c層→a層→b層→c層…のように積み重なり、原子の位置が異なるa~cの3層が繰り返されることから、aとbの2層が繰り返される六方最密構造とは異なる構造である。

図2の単位格子の立方体の対角線AHを含む断面AIHJを図示すると、



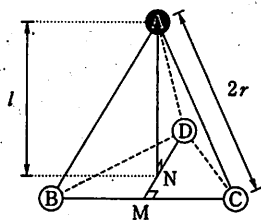
図v

図vより、層間の距離 l は、対角線AHの長さ $\sqrt{3}a$ の $\frac{1}{3}$ である。また、aの(参考)の部分で示したように、面心立方格子では、単位格子の一边の長さ a と原子半径 r には $4r = \sqrt{2}a$ の関係があることから、 l は r を用いて次のように表される。

$$l = \frac{\sqrt{3}}{3} a = \frac{\sqrt{3}}{3} \times 2\sqrt{2} r = \frac{2\sqrt{6}}{3} r$$

(別解)

互いに最近接の4個の原子は、次の図viのように正四面体の頂点に配置し、この正四面体の高さANが層間の距離 l に相当する。



図vi

図viの正四面体の一边の長さは $2r$ であり、正三角形BCDの重心NはDMを2:1に内分するので、

$$DN = \frac{2}{3} DM = \frac{2}{3} DC \sin 60^\circ = \frac{2}{3} \times 2r \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{2}{\sqrt{3}} r$$

三平方の定理より、

$$l = AN = \sqrt{AD^2 - DN^2} \\ = \sqrt{(2r)^2 - \left(\frac{2}{\sqrt{3}}r\right)^2} = \sqrt{4r^2 - \frac{4}{3}r^2} = \sqrt{\frac{8}{3}}r = \frac{2\sqrt{6}}{3}r$$

なお、六方最密構造においても $l = \frac{2\sqrt{6}}{3}r$ の関係が成り立ち、これに基づいて、六方最密構造の充填率や密度を算出することができる。

7 ... ②

第2問 原子の構造、化学量、酸と塩基

問1 原子の構造、電気量と化学量

a 原子は、原子核とそのまわりを取りまく負の電荷をもつ電子からできており、原子核は正の電荷をもつ陽子と電荷をもたない中性子からなる(ただし、 ^1H 原子は中性子をもたない)。陽子1個がもつ電気量の絶対値と電子1個がもつ電気量の絶対値は等しく、原子に含まれる陽子の数と電子の数は等しい。また、陽子1個の質量を1とすると、中性子1個の質量は約1、電子1個の質量は約 $\frac{1}{1840}$ である。

① 正しい。電子の質量は、陽子や中性子の質量に比べて非常に小さく無視できるので、原子の質量は原子核の質量にほぼ等しい。

② 正しい。原子の直径は約 10^{-10} m であり、原子核の直径は約 $10^{-15} \sim 10^{-14}$ m である。したがって、原子の直径は、原子核の直径の $10^4 \sim 10^5$ 倍程度である。

③ 誤り。原子に含まれる陽子の数と中性子の数の和を質量数といい、原子の質量は質量数にほぼ比例する。なお、原子に含まれる陽子の数を原子番号という。

④ 正しい。原子に含まれる陽子の数と電子の数は等しい。なお、陽子1個がもつ電気量の絶対値と電子1個がもつ電気量の絶対値が等しいので、原子は電氣的に中性である。

8 ... ③

b ファラデー定数は電子1 mol がもつ電気量の絶対値であるから、電子1個がもつ電気量の絶対値は、

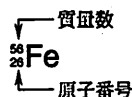
$$\frac{9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}}{6.0 \times 10^{23} / \text{mol}} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

カルシウム Ca の原子番号は 20 であるから、原子核に含まれる陽子の数は 20 である。陽子1個がもつ電気量の絶対値は電子1個がもつ電気量の絶対値と等しく、 $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ であるから、 ^{40}Ca 原子の原子核がもつ電気量の絶対値は、

原子の構造

粒子	電荷	質量比
原子核	陽子	+1
	中性子	0
電子	-1	1

原子番号、質量数



(原子番号) = (陽子の数) = (電子の数)
(質量数) = (陽子の数) + (中性子の数)

ファラデー定数

電子1 mol のもつ電気量の絶対値。

$$F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$$

アボガドロ定数

1 mol あたりの粒子数。

$$N_A = 6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$$

$$1.60 \times 10^{-19} \text{C} \times 20 = 3.20 \times 10^{-18} \text{C} \approx 3.2 \times 10^{-18} \text{C}$$

なお、陽子や電子1個がもつ電荷の絶対値($1.60 \times 10^{-19} \text{C}$)は電気量の最小の単位で、電気素量とよばれる。

9 ... ⑥

c リチウム Li, マグネシウム Mg, アルミニウム Al がそれぞれリチウムイオン Li^+ , マグネシウムイオン Mg^{2+} , アルミニウムイオン Al^{3+} に変化するときのイオン反応式は、それぞれ次のように表される。



Li(原子量 6.9), Mg(原子量 24), Al(原子量 27)について、それぞれ 1g あたり放出される電子の物質量を求めると、

$$\text{Li} : \frac{1}{6.9} \text{ mol}$$

$$\text{Mg} : \frac{1}{24} \text{ mol} \times 2 = \frac{1}{12} \text{ mol}$$

$$\text{Al} : \frac{1}{27} \text{ mol} \times 3 = \frac{1}{9} \text{ mol}$$

電子がもつ電気量の絶対値の総和は、電子の物質量に比例するので、同じ質量の Li, Mg, Al がイオンに変化するとき、放出される電子のもつ電気量の絶対値の総和が小さい順に並べると、

$$\text{Mg} < \text{Al} < \text{Li}$$

10 ... ④

問2 化学反応の量的関係, 中和滴定, 塩の混合物の定量

a 水溶液 X 20.0 mL に含まれる塩化アンモニウム NH_4Cl と塩化ナトリウム NaCl の物質量をそれぞれ x (mol), y (mol) とすると、求める NH_4Cl と NaCl の物質量の合計は $(x+y)$ (mol) である。

実験 I において、水溶液 X に硝酸銀 AgNO_3 水溶液を加えると、塩化物イオン Cl^- と銀イオン Ag^+ が反応し、塩化銀 AgCl の白色沈殿が生じる。



水溶液 X 20.0 mL に含まれる Cl^- の物質量は $(x+y)$ (mol) であるから、式(1)の反応で生じた AgCl (式量 143.5) の物質量について、

$$x+y = \frac{0.287 \text{ g}}{143.5 \text{ g/mol}} = 2.00 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

したがって、水溶液 X 20.0 mL に含まれる NH_4Cl と NaCl の物質量の合計は $2.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$ である。

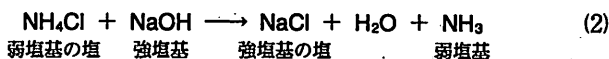
11 ... ④

b 実験 II において、水溶液 X に水酸化ナトリウム NaOH 水溶液を加えると、式(2)の反応(弱塩基の遊離)が起こる。

電気量と電子の物質量の関係

電気量(C) =

ファラデー定数(C/mol) × 電子の物質量(mol)



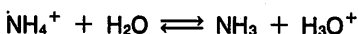
発生したアンモニア NH_3 を塩酸 (HCl の水溶液) に吸収させると、式(3)の中和反応が起こる。



この反応後の水溶液には未反応の塩化水素 HCl が残っているので、水溶液 Y は、 NH_4Cl と HCl の混合水溶液である。水溶液 Y に水酸化ナトリウム NaOH 水溶液を滴下すると、はじめは強酸である HCl と NaOH の中和反応が起こる。

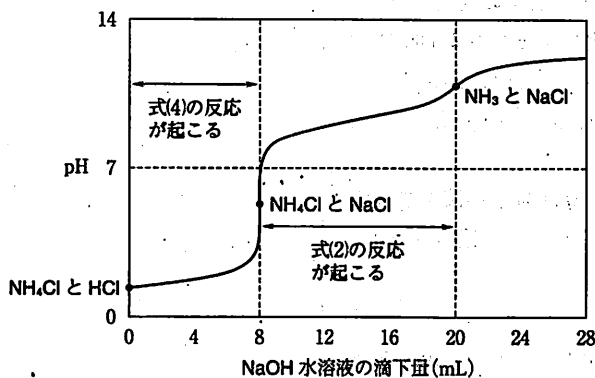


NaOH 水溶液を 8.0 mL 加えたとき、つまり、 HCl がすべて中和されたときの溶液は、 NH_4Cl と NaCl の混合水溶液である。この水溶液は、 NH_4Cl の電離で生じたアンモニウムイオン NH_4^+ の一部が次式で示すように水と反応(加水分解)し、オキソニウムイオン H_3O^+ を生じるため、酸性を示す。



①～④の滴定曲線のうち、 NaOH 水溶液を 8.0 mL 加えたときの溶液が酸性であるものは①のみであるから、水溶液 Y を NaOH 水溶液で滴定したときの滴定曲線に該当するものは①とわかる。

なお、 HCl がすべて中和された後も NaOH 水溶液を滴下すると、式(2)に示した NH_4Cl と NaOH の反応が起こる。したがって、 NH_4Cl がすべて反応するまでは、 NaOH 水溶液を加えたことによる水酸化イオン濃度 $[\text{OH}^-]$ の増加が抑制されるため、 pH の上昇が緩やかになる。

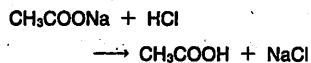


12 … ①

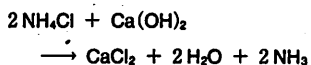
c 実験Ⅱにおいて、水溶液 X (NH_4Cl と NaCl の混合水溶液) に NaOH 水溶液を加えて加熱すると、式(2)の反応が起こり、 NH_3 が完全に気体として追い出される。このとき、反応する NH_4Cl の物質質量と生じる NH_3 の物質質量は等しい。水溶液 X 20.0 mL に含まれる NH_4Cl の物質質量を x (mol) としたので、発生した NH_3 の物質質量は x (mol) である。

弱酸・弱塩基の遊離

弱酸の塩に、より強い酸を加えると、弱酸が遊離する。このような反応を弱酸の遊離という。例えば、弱酸の塩である酢酸ナトリウム水溶液に強酸である塩酸を加えると、酢酸が生じる。



弱塩基の塩に、より強い塩基を加えると、弱塩基が遊離する。このような反応を弱塩基の遊離という。例えば、弱塩基の塩である塩化アンモニウムに強塩基である水酸化カルシウムを加えて加熱すると、アンモニアが発生する。



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

発生した NH_3 を塩酸に吸収させると、式(3)に示す中和反応が起こる。

吸収された NH_3 は x (mol) であるから、水溶液 Y 中に含まれる未反応の HCl の物質量は、

$$0.100 \text{ mol/L} \times \frac{20.0}{1000} \text{ L} - x \text{ (mol)} = (2.00 \times 10^{-3} - x) \text{ (mol)}$$

この HCl を中和するために要した 0.100 mol/L の NaOH 水溶液の体積が 8.0 mL であるから、中和反応の量的関係より、

$$1 \times (2.00 \times 10^{-3} - x) \text{ (mol)} = 1 \times 0.100 \text{ mol/L} \times \frac{8.0}{1000} \text{ L}$$

$$x = 1.20 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

なお、 x (mol) の値は、次のように求めることもできる。

用いた HCl は $(0.100 \text{ mol/L} \times \frac{20.0}{1000} \text{ L}) = 2.00 \times 10^{-3} \text{ mol}$ であり、次の図で示すように、その一部は x (mol) の NH_3 と、残りは $(0.100 \text{ mol/L} \times \frac{8.0}{1000} \text{ L}) = 0.80 \times 10^{-3} \text{ mol}$ の NaOH と中和反応している。

$2.00 \times 10^{-3} \text{ mol}$ の HCl	
x (mol) の NH_3 と反応	$0.80 \times 10^{-3} \text{ mol}$ の NaOH と反応

したがって、中和反応の量的関係より、

$$1 \times 2.00 \times 10^{-3} \text{ mol} = 1 \times x \text{ (mol)} + 1 \times 0.80 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$x = 1.20 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

a より、 $x + y = 2.00 \times 10^{-3} \text{ mol}$ であるから、

$$y = 2.00 \times 10^{-3} \text{ mol} - 1.20 \times 10^{-3} \text{ mol} = 0.80 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

よって、水溶液 X に含まれる NH_4Cl と NaCl の物質量の比は、

$$x : y = 1.20 \times 10^{-3} \text{ mol} : 0.80 \times 10^{-3} \text{ mol} = 3 : 2$$

13 ... ②

第3問 気体、溶解度、希薄溶液の性質

問1 気体の法則と気液平衡

容積一定の真空容器に液体のメタノールを封入し、温度を上昇させていくと、液体のメタノールの蒸発が進む。

i) 液体のメタノールが残っているとき

メタノールは気液平衡の状態であり、気体の圧力はメタノールの飽和蒸気圧に等しい。

ii) 液体のメタノールがすべて蒸発したとき

気体のメタノールの物質量 (n (mol) とする) は一定となり、気体の圧力 (p (Pa) とする) は絶対温度に比例する。

温度を t ($^{\circ}\text{C}$) とすると、

$$p \text{ (Pa)} \times V \text{ (L)} = n \text{ (mol)} \times R \text{ (Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})) \times (273 + t) \text{ (K)}$$

中和反応の量的関係

酸から生じる H^+ の物質量

= 塩基から生じる OH^- の物質量

(塩基が受け取る H^+ の物質量)

したがって、

酸の価数 \times 酸の物質量

= 塩基の価数 \times 塩基の物質量

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、蒸気の示す圧力を飽和蒸気圧(蒸気圧)という。

蒸気の圧力(分圧)がその温度での飽和蒸気圧を超えることはない。

理想気体の状態方程式

理想気体では次の式が成り立つ。

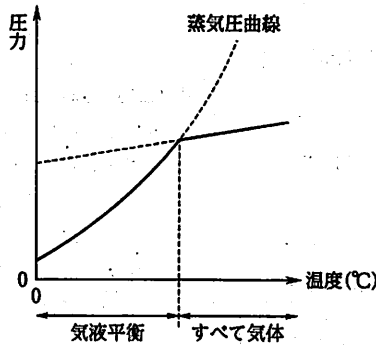
$$pV = nRT$$

p : 圧力, V : 体積, n : 物質量,

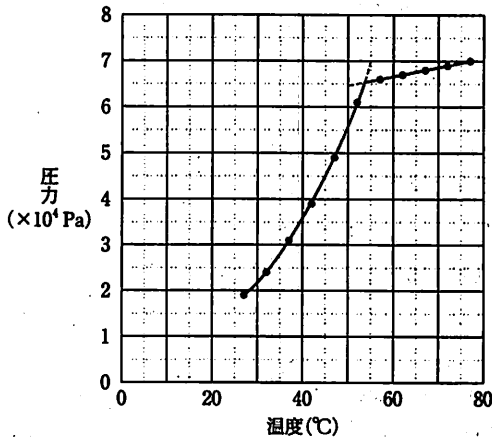
T : 絶対温度, R : 気体定数

$$p = \frac{nR}{V} (273+t)$$

が成り立ち、 n 、 V が一定なので、 p と t のグラフは直線になる。
i), ii)より、容器内の温度と圧力の関係は、次図で表される。



a 表1のデータを方眼紙に記すと、次のグラフが得られる。



グラフより、メタノールは、53℃より低い温度では気液平衡の状態にあり、53℃以上の温度ではすべて気体で存在すると判断できる。

封入したメタノールの物質質量(n (mol))は、メタノールがすべて気体で存在する53℃以上のデータを用いることで、気体の状態方程式から求めることができる。例えば、77℃でのデータを用いて計算すると、

$$\begin{aligned} 7.00 \times 10^4 \text{ Pa} \times 0.83 \text{ L} \\ = n \text{ (mol)} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times (273+77) \text{ K} \\ n = 2.0 \times 10^{-2} \text{ mol} \end{aligned}$$

14 …②, 15 …②, 16 …②

b 同温・同体積における気体の圧力は、物質質量に比例する。よって、封入するメタノールの物質質量を半分にすると、メタノールがすべて気体と仮定したときの圧力は、aでメタノールがすべて気体で存在するときの値の $\frac{1}{2}$ 倍になる。

メタノールがすべて気体と仮定したとき、 t (°C)における圧力

気体の圧力、体積、絶対温度の関係

・物質質量 n : 一定

$$\frac{pV}{T} = \text{一定} \quad (\text{ボイル・シャルルの法則})$$

・物質質量 n , 温度 T : 一定

$$pV = \text{一定} \quad (\text{ボイルの法則})$$

・物質質量 n , 圧力 p : 一定

$$\frac{V}{T} = \text{一定} \quad (\text{シャルルの法則})$$

・物質質量 n , 体積 V : 一定

$$\frac{p}{T} = \text{一定}$$

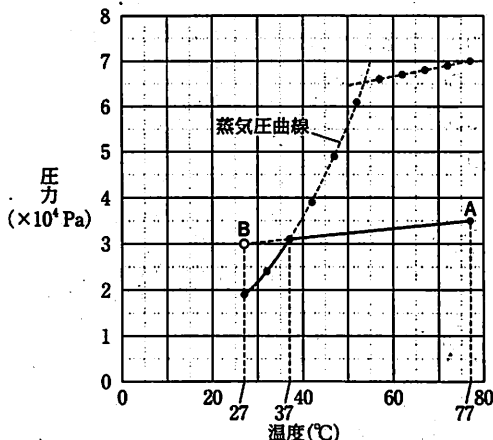
を P (Pa) とすると、

$$P \text{ (Pa)} = \frac{2.0 \times 10^{-2} \text{ (mol)} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times (273 + t) \text{ (K)}}{0.83 \text{ L}}$$

$t = 77^\circ\text{C}$ のとき、 $P = 3.5 \times 10^4 \text{ Pa}$

$t = 27^\circ\text{C}$ のとき、 $P = 3.0 \times 10^4 \text{ Pa}$

よって、メタノールがすべて気体と仮定したときの圧力の変化は、次の図中の直線 AB で表される。



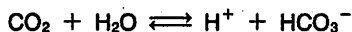
同温における飽和蒸気圧は、液体の量によらず一定なので、封入するメタノールの物質量を半分にしても、蒸気圧曲線は変化しない。

したがって、グラフより、直線 AB と蒸気圧曲線の交点である 37°C で、メタノールがすべて蒸発すると判断できる。

17 ... ②

問2 気体の溶解

① 正しい。二酸化炭素 CO_2 が溶けた水溶液は、炭酸水とよばれ、わずかに電離して水素イオン H^+ を生じる。よって、水溶液は弱酸性を示し、pH は 7 より小さい。



② 正しい。一定量の水に溶ける気体の質量は、その気体の圧力が高いほど大きくなる。よって、圧力を高くすると、水 1 L に溶ける CO_2 の質量は大きくなる。

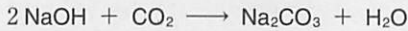
③ 誤り。一定量の水に溶ける気体の質量は、温度が低いほど大きくなる。よって、温度を高くすると、水 1 L に溶ける二酸化炭素の質量は小さくなる。

④ 正しい。 CO_2 は酸性の気体であり、水よりも塩基性の水溶液によく溶ける。よって、水酸化ナトリウム NaOH 水溶液 1 L に吸収させることのできる CO_2 の質量は、水 1 L に吸収させることのできる CO_2 の質量より大きい。なお、このことは次のように説明することができる。 NaOH 水溶液に CO_2 を吸収させた場合、次の反応が段階的に起こる。

気体の溶解度

温度が低く、圧力が高いほど、気体の溶解度(物質質量・質量)は大きくなる。

溶解度の小さい気体では、一定温度で一定量の液体に溶ける気体の物質質量や質量は、その気体の圧力(分圧)に比例する(ヘンリーの法則)。



そのため、NaOH 水溶液に吸収させることのできる CO_2 の量は、水に溶ける CO_2 の量に比べ、上記の反応が起こる分だけ多くなる。

18 ... ③

問3 固体の溶解度

加えた水の質量を w (g) とする。

60℃で硫酸銅(II)五水和物 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 30.0 g を水 w (g) に完全に溶かした後、20℃まで冷却したときに $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ が 5.0 g 析出したので、20℃では硫酸銅(II) CuSO_4 飽和水溶液になっており、この水溶液に溶けた $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ は、30.0 g - 5.0 g = 25.0 g である。

	加えた水	溶けた $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
60℃	w (g)	30.0 g
20℃	w (g)	25.0 g

析出した $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 5.0 g

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (式量 250) 25.0 g に含まれる硫酸銅(II) CuSO_4 (式量 160) および水 H_2O (分子量 18) の質量は、

$$\text{CuSO}_4 \quad 25.0 \text{ g} \times \frac{160 \text{ g/mol}}{250 \text{ g/mol}} = 16.0 \text{ g}$$

$$\text{H}_2\text{O} \quad 25.0 \text{ g} \times \frac{5 \times 18 \text{ g/mol}}{250 \text{ g/mol}} = 9.0 \text{ g}$$

20℃の飽和水溶液について、

$$\frac{\text{溶質}(\text{CuSO}_4)\text{の質量}}{\text{溶媒}(\text{水})\text{の質量}} = \frac{16.0 \text{ g}}{w + 9.0 \text{ (g)}} = \frac{20}{100}$$

または、

$$\frac{\text{溶質}(\text{CuSO}_4)\text{の質量}}{\text{溶液の質量}} = \frac{16.0 \text{ g}}{w + 25.0 \text{ (g)}} = \frac{20}{100 + 20}$$

よって、 $w = 71 \text{ g}$

19 ... ③

問4 希薄溶液の性質

a 溶液の凝固点は、純溶媒の凝固点より低い。この現象を凝固点降下といい、凝固点降下度は、溶質粒子の質量モル濃度に比例する。

氷水 150 g に 1.17 g の塩化ナトリウム NaCl (式量 58.5) を加えて溶かすと、凝固点降下が起こる。温度を -0.74°C に保ったとき、氷が w (g) 残っているとすると、 NaCl 水溶液の質量モル濃度は、

$$\frac{\frac{1.17 \text{ g}}{58.5 \text{ g/mol}}}{\frac{150 - w}{1000} \text{ (kg)}} = \frac{20}{150 - w} \text{ (mol/kg)}$$

固体の溶解度

一般に固体の溶解度は、溶媒 100 g に溶ける溶質(無水物)の最大質量(g)で表される。

固体の溶解度を S (g/100 g 溶媒) とすると、飽和溶液では次の関係が成り立つ。

$$\frac{\text{溶質の質量}(\text{g})}{\text{溶媒の質量}(\text{g})} = \frac{S}{100}$$

$$\frac{\text{溶質の質量}(\text{g})}{\text{溶液の質量}(\text{g})} = \frac{S}{100 + S}$$

凝固点降下

溶液の凝固点が純溶媒の凝固点より低くなる現象。希薄溶液の凝固点降下度 Δt (K) は溶質粒子の質量モル濃度 m (mol/kg) に比例する。

$$\Delta t = K_f m$$

(K_f (K·kg/mol) : モル凝固点降下

溶媒の種類で決まる比例定数)

なお、電離や会合する物質の溶液では、溶液中の溶質粒子の総質量モル濃度に比例する。

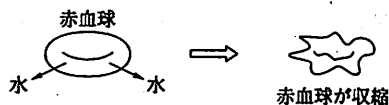
質量モル濃度

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。

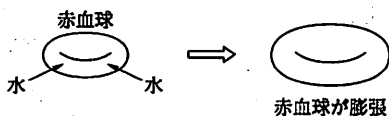
質量モル濃度 (mol/kg)

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

収縮する。



なお、生理食塩水より低濃度の食塩水(低張液という)に赤血球を浸すと、赤血球内へ水が浸透し、赤血球は膨張し、限度を超えると細胞膜が破れる。

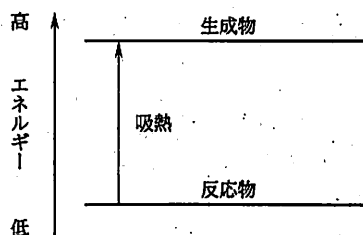


21...②

第4問 化学反応と熱・エネルギー、電池と電気分解

問1 エネルギーの変換

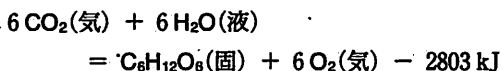
① 正しい。熱エネルギーが吸収される反応を、吸熱反応という。よって、吸熱反応が起こると、生成物のもつ化学エネルギーの総和は、反応物のもつ化学エネルギーの総和より大きくなる。



② 誤り。物質のもつ化学エネルギーは、物質の状態によっても異なる。一般に、同じ物質がもつ化学エネルギーは気体>液体>固体である。したがって、液体が気体になる変化では、物質がもつエネルギーは増加する。

③ 正しい。電池(化学電池)は、酸化還元反応に伴って放出される化学エネルギーを電気エネルギーとして取り出す装置である。

④ 正しい。植物の光合成では、植物が光エネルギーを吸収して、二酸化炭素 CO_2 と水 H_2O から化学エネルギーの大きいグルコース $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ などの糖類を合成する。なお、グルコースが合成されるときの変化は、次の熱化学方程式で表される。



⑤ 正しい。化学反応に伴って光が放出される現象を、化学発光という。化学発光では、反応物のもつ化学エネルギーと生成物のもつ化学エネルギーの差、またはその差の一部が光エネルギーに変換されることで光が放出される。

22...②

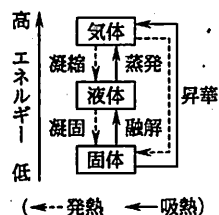
発熱反応と吸熱反応

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

状態変化とエネルギー



問2 化学反応と熱

a 酸化カルシウム CaO (固)と水 H_2O (液)が反応するときの熱化学方程式は、次の式(1)で表される。



反応熱と反応に関与する物質の生成熱の間には、次の関係式が成り立つ。

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

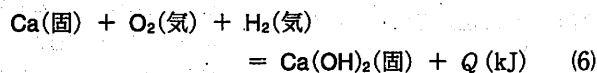
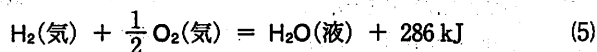
水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (固)の生成熱を Q (kJ/mol)とすると、式(1)に上記の関係式を適用して、

$$\begin{aligned} 65 \text{ kJ} &= Q \text{ (kJ/mol)} \times 1 \text{ mol} \\ &\quad - (635 \text{ kJ/mol} \times 1 \text{ mol} + 286 \text{ kJ/mol} \times 1 \text{ mol}) \end{aligned}$$

$$Q = 986 \text{ kJ/mol}$$

(別解)

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ (固)の生成熱を Q (kJ/mol)とする。 CaO (固)、 H_2O (液)、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (固)の生成熱を表す熱化学方程式は、それぞれ次の式(4)~(6)のように表される。

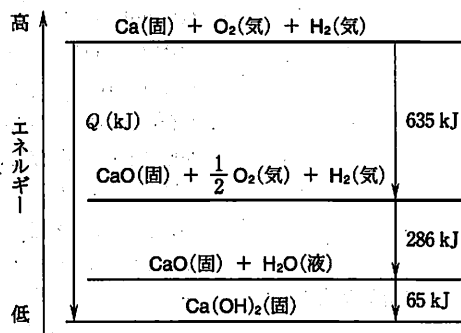


式(6)=式(1)+式(4)+式(5)であるから、

$$Q \text{ (kJ)} = 65 \text{ kJ} + 635 \text{ kJ} + 286 \text{ kJ} = 986 \text{ kJ}$$

以上より、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (固)の生成熱は、986 kJ/molである。

なお、式(1)の反応物と生成物、およびそれらの成分元素の単体をもつエネルギーの関係を表すと次のようになる。



23 ... ⑤

b CaO (固)と H_2O (液)の反応、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (固)の水への溶解、 Al (固)と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液の反応の熱化学方程式は、それぞれ次の式(1)~(3)のように表される。



生成熱

化合物 1 mol が成分元素の単体 (25 °C, 1.013×10^5 Pa で最も安定な同素体) から生成するときに発生または吸収する熱量。

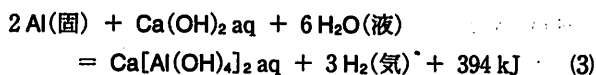
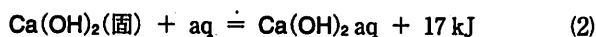
ヘスの法則

物質が変化するときの反応熱は、変化の前後の物質の種類と状態だけで決まり、変化の経路や方法には関係しない。

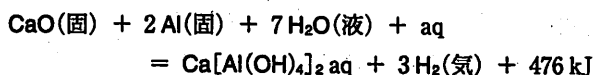
この法則を用いると、実験では測定することが困難な反応熱を、計算によって求めることができる。

反応熱と生成熱の関係

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



反応後にCa(OH)₂は残らなかったため、式(1)+式(2)+式(3)によりCa(OH)₂(固)とCa(OH)₂aqを消去すると、一連の変化は次のようにまとめることができる。



これらの一連の変化により238 kJの発熱量を得るのに必要なCaO(式量56)の物質量和Al(式量27)の物質量は、それぞれ、

$$\text{CaO} \quad \frac{238 \text{ kJ}}{476 \text{ kJ}} \times 1 \text{ mol} = 0.50 \text{ mol}$$

$$\text{Al} \quad \frac{238 \text{ kJ}}{476 \text{ kJ}} \times 2 \text{ mol} = 1.0 \text{ mol}$$

よって、その質量の和は

$$56 \text{ g/mol} \times 0.50 \text{ mol} + 27 \text{ g/mol} \times 1.0 \text{ mol} = 55 \text{ g}$$

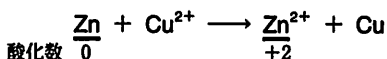
24...②

問3 電池

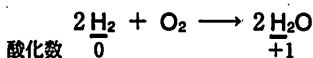
a 電池(化学電池)を放電させると、負極では酸化反応が起こり、外部回路に電子が流れ出し、正極では外部回路から電子が流れ込み、還元反応が起こる。したがって、電池全体の反応で酸化されている物質が負極で反応する物質であり、還元されている物質が正極で反応する物質である。

選択肢で示された物質中の酸化数が変化する原子についてその変化を記すと次のようになる。

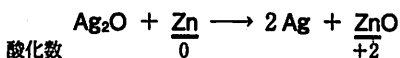
① ダニエル電池



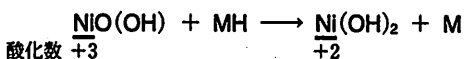
② 水素-酸素燃料電池



③ 酸化銀電池



④ ニッケル-水素電池



(Mは水素吸蔵合金)

①のZn、②のH₂、③のZnは、いずれも酸化数が増加しており、酸化されている。すなわち、これらは負極で反応する物質である。一方、④のNiO(OH)中のNiは酸化数が減少しており、還元されている。すなわち、正極で反応する物質である。

25...④

b 鉛蓄電池の放電時に各電極で起こる反応は、次のように表

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 導線に向かって電子が流れ出る電極。酸化反応が起こる。

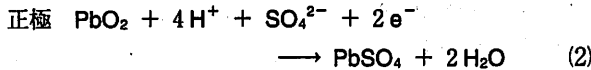
正極 導線から電子が流れ込む電極。還元反応が起こる。

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。

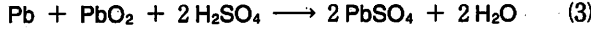
酸化数の決め方

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、H₂O₂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

される。



式(1)+式(2)より電池全体の反応は、次のように表される。



したがって、鉛蓄電池を放電すると導線に流れる電子 2 mol あたり、電解液では、溶質の H_2SO_4 が 2 mol 減少し、溶媒の H_2O が 2 mol 増加する。

導線に電子が x (mol) 流れたとき、 H_2SO_4 (分子量 98) が x (mol) 減少、 H_2O (分子量 18) が x (mol) 増加するので、電解液の質量が 0.80 g 減少したことから、

$$\begin{aligned} -98 \text{ g/mol} \times x \text{ (mol)} + 18 \text{ g/mol} \times x \text{ (mol)} &= -0.80 \text{ g} \\ x &= 0.010 \text{ mol} \end{aligned}$$

よって、流れた電子は 0.010 mol である。

放電時、正極では、式(2)の反応によって、難溶性の PbSO_4 が生じ極板に付着するため、正極の質量は増加する。流れる電子 2 mol あたり、 PbO_2 (式量 239) 1 mol が、 PbSO_4 (式量 303) 1 mol に変化するため、質量は $(303 \text{ g} - 239 \text{ g}) = 64 \text{ g}$ 増加する。

流れた電子が 0.010 mol なので、正極の質量の増加量は、

$$64 \text{ g} \times \frac{0.010 \text{ mol}}{2 \text{ mol}} = 0.32 \text{ g}$$

よって、0.32 g 増加する。

(別解)

放電時、負極では、流れる電子 2 mol あたり、 Pb (式量 207) 1 mol が、 PbSO_4 (式量 303) 1 mol に変化するため、質量は $(303 \text{ g} - 207 \text{ g}) = 96 \text{ g}$ 増加し、正極では、流れる電子 2 mol あたり、 PbO_2 (式量 239) 1 mol が、 PbSO_4 (式量 303) 1 mol に変化するため、質量は $(303 \text{ g} - 239 \text{ g}) = 64 \text{ g}$ 増加する。よって、負極と正極において増加する質量の比は、 $96 \text{ g} : 64 \text{ g} = 3.0 : 2.0$ となる。

また、電池全体で質量は保存されるので、次の式が成り立つ。

$$\begin{aligned} (\text{減少した電解液の質量}) \\ = (\text{負極および正極で増加した質量の和}) \end{aligned}$$

よって、正極の質量の増加量は、

$$0.80 \text{ g} \times \frac{2.0}{3.0 + 2.0} = 0.32 \text{ g}$$

問4 電気分解

電極 B (白金板) (陰極) で起こる反応は、次の式(1)で表される。



I (A) の電流を t (秒) 流したときに回路を流れる電子の物質質量は、

鉛蓄電池

負極に鉛、正極に酸化鉛(IV)、電解液に希硫酸を用いた電池。



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。電解質の水溶液の電気分解では次の反応が起こる。

陽極…外部電極の正極とつないだ電極。酸化反応が起こる。

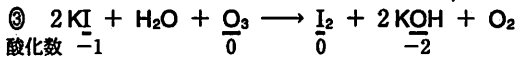
- ・電極が Cu や Ag のとき
 1. Cu や Ag がイオンになり溶解する。
- ・電極が C や Pt のとき
 2. ハロゲン化物イオンが酸化され、ハロゲン単体が生成する。
 3. H_2O (電解液が酸性、中性のとき) や OH^- (電解液が塩基性のとき) が酸化され、 O_2 が発生する。

陰極…外部電極の負極とつないだ電極。還元反応が起こる。

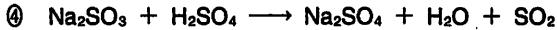
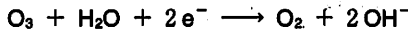
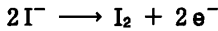
1. 電解液中の Ag^+ や Cu^{2+} が還元され Ag や Cu が析出する。
2. H_2O (電解液が中性、塩基性のとき) や H^+ (電解液が酸性のとき) が還元され、 H_2 が発生する。

26 … ④

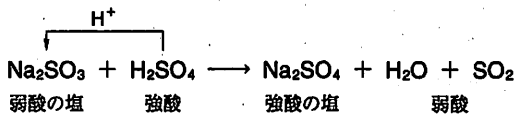
水作用により一酸化炭素 CO が発生する。



KI から I₂ への変化で I 原子の酸化数は -1 から 0 に変化し、O₃ から KOH への変化で O 原子の酸化数は 0 から -2 に変化している。したがって、この反応では KI が還元剤、O₃ が酸化剤としてはたらいっている。なお、KI、O₃ は還元剤、酸化剤としてそれぞれ次のように反応する。



弱酸の塩である亜硫酸ナトリウム Na₂SO₃ の水溶液に強酸である硫酸 H₂SO₄ を加えると、亜硫酸イオン SO₃²⁻ が H₂SO₄ から生じた H⁺ を受け取り、弱酸である亜硫酸 (H₂O + SO₂) を生じる (弱酸の遊離)。この反応では、S 原子の酸化数は、Na₂SO₃ と SO₂ では +4、H₂SO₄ と Na₂SO₄ では +6 で、いずれも変化していない。



29...①

問 2 酸化還元反応の量的関係

高度さらし粉 Ca(ClO)₂ · 2H₂O やさらし粉 CaCl(ClO) · H₂O に塩酸を加えると塩素 Cl₂ が発生する。発生する塩素を有効塩素といい、塩素系漂白剤や殺菌剤の製品規格として用いられる。

高度さらし粉の有効塩素を定量するこの実験では、次の(i)~(iii)の反応が関係する。

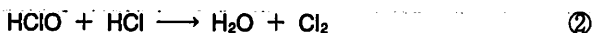
(i) 高度さらし粉からの塩素の発生

高度さらし粉に塩酸を加えると塩素が発生する。この反応は問題文中の考察をもとに次のように考えることができる。

1. から、弱酸の塩である次亜塩素酸カルシウム Ca(ClO)₂ に強酸である塩酸を加えると、弱酸である次亜塩素酸 HClO が遊離する。このとき次亜塩素酸イオン ClO⁻ が H⁺ を受け取って HClO が生じる。



2. から、塩酸が十分に存在すると問 1 式(1)の反応が左に進み、塩素が発生する。



式①+式②×2 から、



弱酸の遊離

弱酸の塩 + 強酸

→ 強酸の塩 + 弱酸

(ii) ヨウ素の遊離

塩素 Cl_2 は酸化剤，ヨウ化カリウム KI は還元剤として次のようにはたらく。

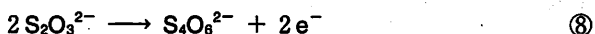


式④+式⑤，さらに両辺に 2K^+ を加えると，

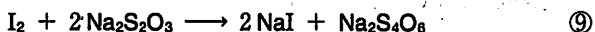


(iii) チオ硫酸ナトリウム $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ によるヨウ素の定量

ヨウ素 I_2 は酸化剤， $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ は還元剤として次のようにはたらく。



式⑦+式⑧，さらに両辺に 4Na^+ を加えると，



この滴定では，チオ硫酸ナトリウム水溶液を滴下していくとヨウ素が還元され，コニカルビーカー内の溶液の色が次第に褐色から淡黄色に変化していく。これにデンプン水溶液を加えると，ヨウ素デンプン反応によって青紫色になり，ヨウ素が完全に還元されて消失すると無色になるので，ここを滴定の終点とする。

a 操作Ⅱで生成した I_2 の物質量を x (mol) とすると， 0.100 mol/L の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液を 20.0 mL 滴下したところで式⑨の反応が完了したので，

$$x \text{ (mol)} : 0.100 \text{ mol/L} \times \frac{20.0}{1000} \text{ L} = 1 : 2$$

$$x = 1.00 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

30 ... ⑩

b 式⑥より，操作Ⅱで生じたと考えられる Cl_2 の物質量は $1.00 \times 10^{-3} \text{ mol}$ であることがわかる。操作Ⅰでは，高度さらし粉 1.00 g に水を加えて 250 mL の水溶液にしていることから，高度さらし粉 1.00 g あたりの塩素発生量は，

$$1.00 \times 10^{-3} \text{ mol} \times \frac{250 \text{ mL}}{25.0 \text{ mL}} = 1.00 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

Cl_2 の分子量は 71.0 であるから，有効塩素量は，

$$\frac{\text{発生した } \text{Cl}_2 \text{ の質量}}{\text{高度さらし粉の質量}} \times 100 \\ = \frac{71.0 \text{ g/mol} \times 1.00 \times 10^{-2} \text{ mol}}{1.00 \text{ g}} \times 100 = 71 (\%)$$

31 ... ⑪