

クラス		受験番号	
出席番号		氏名	

2015年度 第2回 全統マーク模試
 学習の手引き【解答・解説集】

数 学 ・ 理 科

【2015年8月実施】

• 数 学	
数学①	
数学Ⅰ	1
数学Ⅰ・数学A	17
数学②	
数学Ⅱ	42
数学Ⅱ・数学B	51
• 理 科	
理科①	
物理基礎	72
化学基礎	77
生物基礎	86
地学基礎	92
理科②	
物理	103
化学	112
生物	127
地学	140

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。



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	②	3	
	問2	2	⑤	4	
	問3	3	③	4	
	問4	4	④	4	
	問5	5	②	4	
第1問		自己採点小計		(19)	
第2問	問1	1	①	3	
		2	①	4	
	問2	3	②	3	
		4	②	4	
	問3	5	③	4	
第2問		自己採点小計		(18)	
第3問	問1	1	③	3	
		2	①	4	
	問2	3	①	4	
	問3	4	④	3	
	問5	6	⑥	4	
第3問		自己採点小計		(21)	
第4問	問1	1	⑤	4	
		2	⑤	4	
	問2	3	④	3	
		4	③	3	
	問4	5	②	3	
		6	①	4	
第4問		自己採点小計		(21)	
第5問	問1	1	①	4	
	問2	2	④	3	
	問3	3	③	4	
	問4	4	⑤	3	
	問5	5	⑤	3	
	問6	6	③	4	
第5問		自己採点小計		(21)	
				自己採点合計	(100)

【解説】

第1問 物質の構成, 化学結合, 化学量

問1 原子, イオン

① 正しい。電子1個の質量は, 陽子1個の質量の約 $\frac{1}{1840}$ である。

② 誤り。原子核は原子の中心に存在し, この原子核のまわりに, 電子がいくつかの層(電子殻)にわかれて取り巻くように存在している。原子核の大きさ(直径 $10^{-15} \sim 10^{-14}$ m 程度)は, 原子の大きさ(直径 10^{-10} m 程度)に比べて非常に小さい。

③ 正しい。窒素NとリンPはともに15族の元素であり, 窒素原子とリン原子の価電子の数は, ともに5個である。

	K 殻	L 殻	M 殻
${}_7\text{N}$	2	5	
${}_{15}\text{P}$	2	8	5

④ 正しい。水素原子 ${}^1\text{H}$ は陽子1個と電子1個によって構成され, ${}^1\text{H}$ が電子を失った水素イオン H^+ は, 1個の陽子のみからなる。

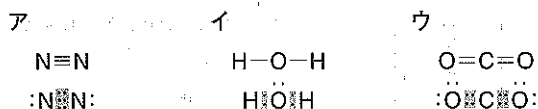
⑤ 正しい。フッ化物イオン F^- とナトリウムイオン Na^+ は, どちらもネオン原子Neと同じ電子配置(K殻:2, L殻:8)である。同じ電子配置のイオンを比べると, 原子番号が大きいほど原子核中の陽子の数が多くなり, 電子が原子核に, より強く引かれるため, イオン半径は小さくなる。よって, イオン半径の大きさは $\text{F}^- > \text{Na}^+$ である。

	K 殻	L 殻	M 殻
${}_9\text{F}$	2	7	
F^-	2	8	
${}_{11}\text{Na}$	2	8	1
Na^+	2	8	

① … ②

問2 共有結合に使われている電子の数

A~ウの分子を構造式および電子式で表すと次のようになる。



2個で対になった価電子を電子対といい, このうち, 原子間で共有され, 共有結合を構成しているものを共有電子対(図中の $::$), 原子間で共有されていないものを非共有電子対(図中の $:$)という。共有電子対をAは3組, イは2組, ウは4組もつので, 共有結

【ポイント】

原子の構造

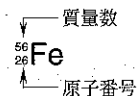
粒子		電荷	質量比
原子核	陽子	+1	1836
	中性子	0	1839
電子		-1	1

陽子1個のもつ電荷 1.60×10^{-19} C を +1 で表すと, 電子1個のもつ電荷は -1 で表される。

価電子

最外殻にある1~7個の電子を価電子という。価電子は, 原子が結合したりイオンになるときに重要な役割を果たす。なお, 希ガスの原子は, イオンになりにくく, また, 結合しにくいので, 価電子の数は0とする。

原子番号, 質量数



(原子番号) = (陽子の数)

(質量数) = (陽子の数) + (中性子の数)

共有電子対と非共有電子対

二原子間で共有されている電子対を共有電子対といい, 共有結合に関与していない電子対を非共有電子対という。

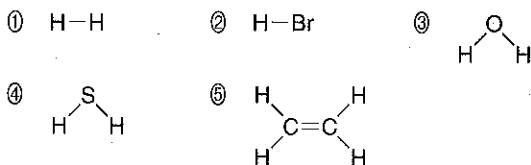
合に使われている電子の数は、アが6個、イが4個、ウが8個であり、多い順にならべるとウ>ア>イとなる。

2...⑤

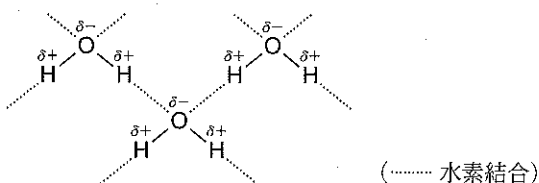
問3 水素結合

電気陰性度の大きいフッ素原子F、酸素原子O、窒素原子Nに結合した水素原子Hと、これに直接共有結合していないF、O、Nが静電的に引き合って生じる結合を水素結合という。分子間に水素結合がはたらくと、ファンデルワールス力のみがはたらく分子に比べて分子どうしがより強く引き合う。

①～⑤の分子の構造は次のようになる。



このうち、O—H結合をもつ③ H₂Oのみ、分子間に水素結合を形成する。

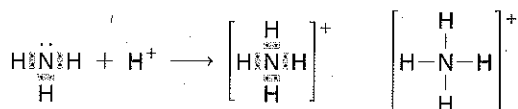


3...③

問4 化学結合と結晶の性質

① 正しい。アルミニウムを含め金属結晶中では、価電子はすべての原子によって共有され、特定の原子間にとどまることなく結晶全体を自由に移動することができる。このような価電子を自由電子といい、自由電子による金属の原子間の結合を金属結合という。

② 正しい。アンモニア分子NH₃中の窒素原子は非共有電子対をもち、これに水素イオンが配位結合すると、アンモニウムイオンNH₄⁺になる。配位結合はでき方が通常の共有結合と異なるが、できた結合は通常の共有結合と同じになる。すなわち、NH₄⁺の4個のN—H結合の性質はすべて等しく、互いに区別できない。

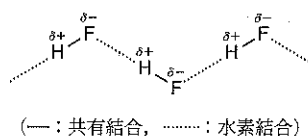


③ 正しい。一般に金属元素と非金属元素の化合物では、金属元素は陽イオンに、非金属元素は陰イオンになり、静電気力(クーロン力)によって互いに結びついてイオン結晶を形成している。このように、陽イオンと陰イオンが静電気力で結びつく結合をイ

水素結合

HF、H₂O、NH₃分子では、電気陰性度の大きいF、O、N原子がH原子との共有電子対を強く引き寄せている。このため、H原子がいくらか正に帯電し、隣り合う分子のいくらか負に帯電したF、O、N原子と静電気力で引き合う。このような結合を水素結合という。

HFの例



結晶の分類と性質

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。

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。

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。

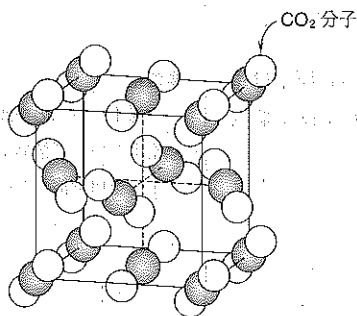
共有結合の結晶 原子が共有結合によって次々と結びついた結晶。非常に硬く、電気を導かない。(黒鉛は軟らかく、また、電気を導く。)

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。

オン結合といい、酸化アルミニウム Al_2O_3 は、アルミニウムイオン Al^{3+} と酸化物イオン O^{2-} がイオン結合で結びついたイオン結晶である。

④ 誤り。ドライアイスは二酸化炭素の結晶である。二酸化炭素分子 CO_2 は炭素原子 C と酸素原子 O の共有結合によって形成されるが、 CO_2 の分子どうしはファンデルワールス力によって結びついて分子結晶を形成している。



ドライアイスの結晶構造

⑤ 正しい。すべての分子間にはファンデルワールス力がはたらくている。ファンデルワールス力は、分子量が大きいほど、また、分子の極性が大きいほど強くなる傾向にある。窒素 N_2 と水素 H_2 はどちらも無極性分子であるが、 N_2 は H_2 よりも分子量が大きいので、分子間にはたらく引力は H_2 より N_2 の方が大きい。

4 ... ④

問5 物質質量

① 標準状態 (0°C , $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$) における体積が 5.6 L のネオン Ne の物質質量は、

$$\frac{5.6 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 0.25 \text{ mol}$$

② 0.10 mol/L の炭酸ナトリウム水溶液 2.0 L に含まれる炭酸ナトリウム Na_2CO_3 の物質質量は、

$$0.10 \text{ mol/L} \times 2.0 \text{ L} = 0.20 \text{ mol}$$

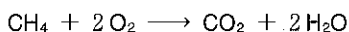
1 mol の Na_2CO_3 には 2 mol の Na^+ が含まれるので、水溶液に含まれる Na^+ の物質質量は、

$$0.20 \text{ mol} \times 2 = 0.40 \text{ mol}$$

③ 1 mol の水 H_2O (18 g/mol) には 2 mol の水素原子 H が含まれるので、 1.8 g の水に含まれる水素原子の物質質量は、

$$\frac{1.8 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} \times 2 = 0.20 \text{ mol}$$

④ メタン CH_4 の完全燃焼は次の化学反応式で表され、 1 mol の CH_4 を完全燃焼させると 1 mol の二酸化炭素 CO_2 が発生する。



ファンデルワールス力

すべての分子間にはたらく引力。分子量が大きいほど、また、分子の極性が大きいほど強くなる。

モル濃度

溶液 1 L に溶解している溶質の物質質量で示した濃度。

モル濃度 $[\text{mol/L}]$

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

化学反応式と量的関係

化学反応式中の係数の比は、反応物と生成物の変化する物質質量の比を表す。

(反応式中の係数の比)

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

よって、1.6 g の CH_4 (16 g/mol) を完全燃焼させたときに生成する CO_2 の物質量は、

$$\frac{1.6 \text{ g}}{16 \text{ g/mol}} \times 1 = 0.10 \text{ mol}$$

以上より、②の Na^+ の物質量が最も大きい。

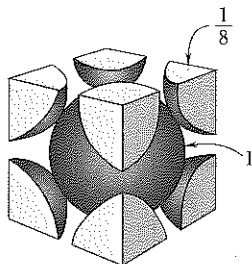
5 ... ②

第2問 結晶格子，気体，気液平衡

問1 金属の結晶格子

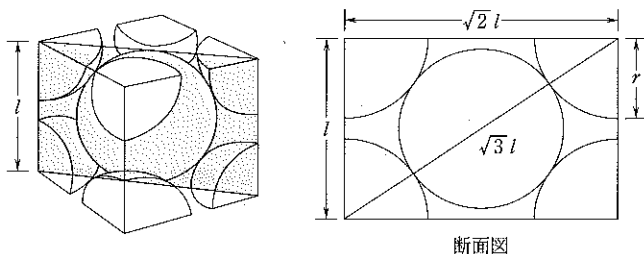
a 体心立方格子において、単位格子の頂点にある各原子は単位格子中に $\frac{1}{8}$ 個含まれ、単位格子の中心にある原子は1個含まれるので、単位格子中に含まれる原子の数は、

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



1 ... ①

b 単位格子の一辺の長さを l ，カリウム原子の半径を r とする。体心立方格子では、次の図のように、原子どうしは単位格子の対角線上で接している。



図より、

$$4r = \sqrt{3}l \quad r = \frac{\sqrt{3}}{4}l$$

2 ... ①

問2 気体の法則と状態方程式

容器に封入した窒素の物質量を n [mol]，状態 B，C のときの圧力をそれぞれ p_B ， p_C [Pa] とする。状態 A，B，C での圧力，体積，絶対温度，物質量は以下のとおりである。

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、結晶格子の最小のくり返し単位を単位格子という。

	圧力 [Pa]	体積 [L]	絶対温度 [K]	物質質量 [mol]
状態 A	2.0×10^5	1.0	500 (= 273 + 227)	n
状態 B	p_B	2.0	500	n
状態 C	p_C	2.0	300 (= 273 + 27)	n

a 状態 A について、状態方程式 $pV = nRT$ から、

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{2.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times 1.0 \text{ L}}{8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times 500 \text{ K}} = 0.0481 \approx 0.048 \text{ mol}$$

3 ... ㊸

b 状態 A から B, B から C への変化では、窒素の物質質量 n が一定なので、いずれもボイル・シャルルの法則 $\frac{pV}{T} = \text{一定}$ が成り立つ。

さらに、状態 A から B への変化では、絶対温度 T も一定なので、ボイルの法則 $pV = \text{一定}$ が成り立つ。

$$2.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times 1.0 \text{ L} = p_B [\text{Pa}] \times 2.0 \text{ L}$$

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

また、圧力 p と体積 V は反比例するので、グラフは㊸か㊹である。

$$pV = k \quad V = \frac{k}{p} \quad (k: \text{定数})$$

状態 B から C への変化では、体積 V も一定なので、圧力 p と絶対温度 T が比例する。

$$\frac{p}{T} = k' \quad (k': \text{定数})$$

$$\frac{1.0 \times 10^5 \text{ Pa}}{500 \text{ K}} = \frac{p_C [\text{Pa}]}{300 \text{ K}}$$

$$p_C = 0.60 \times 10^5 = 6.0 \times 10^4 \text{ Pa}$$

したがって、正しいグラフは㊹である。なお、B から C への変化では体積は一定なので、グラフは横軸に平行な直線になる。

4 ... ㊸

問3 気液平衡

容積 4.0 L から圧縮していき、水蒸気の分圧が 70 °C における飽和蒸気圧である $3.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ に達したとき、水滴が生じ始める。このとき、容積は 2.0 L で、ここまでは水もすべて気体なので、容器内の気体の物質質量は一定であり、温度も一定なので、ボイルの法則が成り立つ。2.0 L のときの混合気体の全圧を p [Pa] とすると、

$$5.0 \times 10^4 \text{ Pa} \times 4.0 \text{ L} = p [\text{Pa}] \times 2.0 \text{ L}$$

$$p = 1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$$

このとき、水蒸気分圧は 70 °C の飽和蒸気圧である $3.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ なので、ドルトンの分圧の法則から、酸素分圧 p_{O_2} [Pa] は、

$$p_{\text{O}_2} = 1.00 \times 10^5 \text{ Pa} - 3.0 \times 10^4 \text{ Pa} = 7.0 \times 10^4 \text{ Pa}$$

5 ... ㊸

理想気体の状態方程式

気体の物質質量: n [mol], 圧力: p [Pa], 体積: V [L], 絶対温度: T [K] のとき、
 $pV = nRT$
 (気体定数: $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$)

気体の法則

一定物質量の気体では、

ボイルの法則 温度一定では、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 圧力一定では、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、圧力 p に反比例し、絶対温度 T に比例する。

$$\frac{pV}{T} = \text{一定}$$

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、成分気体の分圧の和に等しい。

気液平衡

液体物質を密閉容器に入れて放置したとき、一定時間に「蒸発する分子の数 = 凝縮する分子の数」となった状態。

飽和蒸気圧

液体と蒸気共存し、気液平衡となったとき蒸気が示す圧力。蒸気の圧力がその温度の飽和蒸気圧を超えることはない。

第3問 溶液、物質の状態、化学反応と熱

問1 溶液の濃度、反応の量的関係

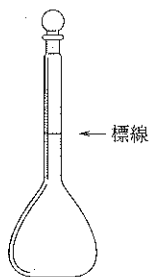
a ポイントは、はかりとる塩化カルシウム二水和物 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (147 g/mol) の質量と、正確な濃度の溶液をつくるための操作方法の2点である。

ある量の $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ とそれに含まれる CaCl_2 の物質量は等しい。はかりとる $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の質量を w [g] とする。1.00 mol/L の塩化カルシウム水溶液 100 mL と、 w [g] の $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ に含まれる CaCl_2 の物質量は等しいことから、

$$\frac{w \text{ [g]}}{147 \text{ g/mol}} = 1.00 \text{ mol/L} \times \frac{100}{1000} \text{ L}$$

$$w = 14.7 \text{ g}$$

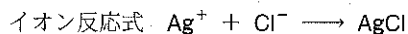
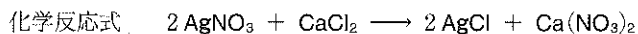
正確な濃度の溶液をつくるためにはメスフラスコを用いる。具体的には、はかりとった $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を、ビーカーで少量の水に溶かし、これを 100 mL のメスフラスコに入れ、標線まで水を加えると、1.00 mol/L の溶液になる。メスシリンダーで水 100 mL をはかりとり、これに溶かした場合は、わずかであるが溶液の体積は 100 mL からずれる。また、メスシリンダーの目盛りの精度はメスフラスコより落ちるため、正確な濃度の溶液をつくるときにメスシリンダーは用いられない。なお、メスフラスコに直接固体を入れて溶かすと、発熱する場合があります、メスフラスコの膨張によって目盛りが正確でなくなる可能性があるため、あらかじめビーカーで溶かし、発熱した場合は放冷してからメスフラスコに入れる。



メスフラスコ

1 ... ③

b 硝酸銀水溶液に塩化カルシウム水溶液を加えると、塩化銀 AgCl の白色沈殿が生じる。



硝酸銀水溶液中の AgNO_3 の物質量は、

$$1.00 \text{ mol/L} \times \frac{50.0}{1000} \text{ L} = 0.0500 \text{ mol}$$

生じた AgCl (143.5 g/mol) の物質量は、

$$\frac{2.87 \text{ g}}{143.5 \text{ g/mol}} = 0.0200 \text{ mol}$$

したがって、この反応では、 AgNO_3 は一部が未反応で残り、 CaCl_2 がすべて反応して 0.0200 mol の AgCl が生じている。加えた塩化カルシウム水溶液の体積を $v \text{ [mL]}$ とすると、 CaCl_2 と AgCl の物質量の比 ($\text{CaCl}_2 : \text{AgCl}$) は $1 : 2$ であることから、

$$1.00 \text{ mol/L} \times \frac{v}{1000} \text{ [L]} : 0.0200 \text{ mol} = 1 : 2$$

$$1.00 \text{ mol/L} \times \frac{v}{1000} \text{ [L]} \times 2 = 0.0200 \text{ mol} \times 1$$

$$v = 10.0 \text{ mL}$$

なお、反応の量的関係は次のようになる。

	$2 \text{ AgNO}_3 + \text{CaCl}_2 \longrightarrow 2 \text{ AgCl} + \text{Ca(NO}_3)_2$			
反応前	0.0500	0.0100	0	0
変化量	-0.0200	-0.0100	+0.0200	+0.0100
反応後	0.0300	0	0.0200	0.0100

[単位 : mol]

2 ... ①

問2 希薄溶液の性質 (凝固点降下)

グルコース水溶液の質量モル濃度は、

$$\frac{0.10 \text{ mol}}{0.500 \text{ kg}} = 0.20 \text{ mol/kg}$$

グルコースは非電解質なので、その水溶液の凝固点降下度 Δt_f [K] は、溶液の質量モル濃度に比例する。

$$\Delta t_f = 1.85 \text{ K} \cdot \text{kg/mol} \times 0.20 \text{ mol/kg} = 0.37 \text{ K}$$

純水の凝固点は 0°C なので、このグルコース水溶液の凝固点は -0.37°C である。

3 ... ①

問3 物質の状態

① 正しい。物質が自然に広がっていく現象を拡散という。水に赤インクを滴下すると、赤色が徐々に広がるが、これは拡散の例である。また、気体の混合でも拡散が起こる。なお、拡散が起こるのは、物質の構成粒子が熱運動をしているためである。

② 正しい。物質を構成する粒子は、その温度に応じた運動エネルギーをもって、いろいろな速さで、いろいろな方向へ絶えず運動している。このような粒子の不規則な運動を熱運動といい、温度が高いほど熱運動は激しくなる。

③ 正しい。液体を加熱していくと、液体の表面付近にある運動エネルギーの大きな粒子が、液体表面から飛びだし気体になる。さらに温度を上げ、液体の飽和蒸気圧と液面にかかる外圧が等しくなると、液体の内部からも蒸気が発生する。この現象を沸騰という。

④ 誤り。塩化ナトリウムのような不揮発性の溶質を溶かした

質量モル濃度

溶媒 1 kg あたりに溶けている溶質の量を物質量で表した濃度。単位記号には mol/kg を用いる。

質量モル濃度 [mol/kg]

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

凝固点降下

溶液の凝固点は、純溶媒の凝固点より低い。希薄溶液の凝固点降下度は、溶質が非電解質の場合、溶液の質量モル濃度に比例する。

質量モル濃度を $m \text{ [mol/kg]}$ 、凝固点降下度を $\Delta t_f \text{ [K]}$ とすると、

$$\Delta t_f = K_f m$$

(K_f : 溶媒の種類で決まる比例定数で、モル凝固点降下という。)

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、純溶媒より低い。希薄溶液の蒸気圧降下の度合いは、溶質が非電解質の場合、溶液の質量モル濃度に比例する。

溶液では、溶質粒子の分だけ液体表面から蒸発する溶媒分子の数が減少し、その結果、溶液の蒸気圧は純粋な溶媒の蒸気圧より低くなる。このため、溶液では蒸気圧を外圧と等しくするためには、純粋な溶媒より温度を高くしなければならない。したがって、沸点は塩化ナトリウム水溶液の方が純水より高い。

⑥ 正しい。水など純粋な溶媒では、沸点に達した後、液体がすべて気体になるまで、温度は一定に保たれる。一方、塩化ナトリウム水溶液など不揮発性の溶質を溶かした溶液では、沸騰が始まると、水(溶媒)が蒸発するので溶液の濃度が少しずつ増加する。したがって、沸点上昇度が増加し、溶液の温度は徐々に上昇する。

4 ... ④

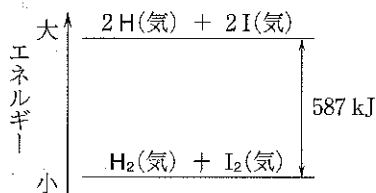
問4 結合エネルギー

結合エネルギーは、共有結合1 molを切断するのに必要なエネルギーである。すなわち、原子状態と分子状態のエネルギー(化学エネルギー)を比較すると、原子状態>分子状態である。

「水素 H_2 (気)1 mol とヨウ素 I_2 (気)1 mol」と「水素原子 H (気)2 mol とヨウ素原子 I (気)2 mol」のもつエネルギーの差は、 $\text{H}-\text{H}$ および $\text{I}-\text{I}$ の結合エネルギーがそれぞれ 436 kJ/mol, 151 kJ/mol であることより、

$$436 \text{ kJ} + 151 \text{ kJ} = 587 \text{ kJ}$$

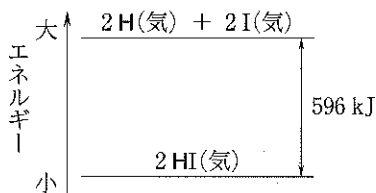
これを図で表すと、次のようになる。



「ヨウ化水素 HI (気)2 mol」と「水素原子 H (気)2 mol とヨウ素原子 I (気)2 mol」のもつエネルギーの差は、 $\text{H}-\text{I}$ の結合エネルギーが 298 kJ/mol であることより、

$$298 \text{ kJ} \times 2 = 596 \text{ kJ}$$

これを図で表すと、次のようになる。



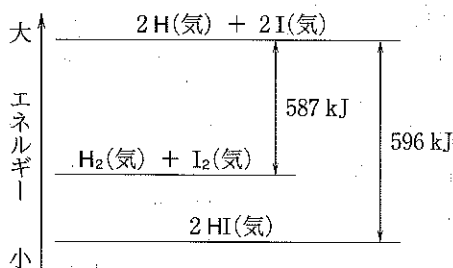
上の二つの図をまとめると、次のようになる。

沸点上昇

不揮発性物質を溶かした溶液の沸点は、純溶媒の沸点より高い。希薄溶液の沸点上昇度は、溶質が非電解質の場合、溶液の質量モル濃度に比例する。

結合エネルギー

共有結合1 molを切断するのに必要なエネルギー。



【別解】

$\text{H}_2(\text{気}) + \text{I}_2(\text{気}) = 2\text{HI}(\text{気}) + Q [\text{kJ}]$ とすると、「反応熱 = 生成物の結合エネルギーの総和 - 反応物の結合エネルギーの総和」より、

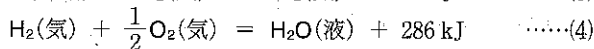
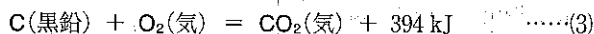
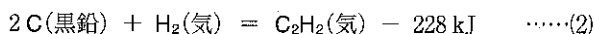
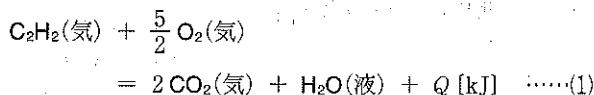
$$Q = 298 \text{ kJ} \times 2 - (436 \text{ kJ} + 151 \text{ kJ}) = 9 \text{ kJ}$$

よって、「水素 $\text{H}_2(\text{気})$ 1 mol とヨウ素 $\text{I}_2(\text{気})$ 1 mol」のもつエネルギーは、「ヨウ化水素 $\text{HI}(\text{気})$ 2 mol」のもつエネルギーより 9 kJ 大きい。また、「水素原子 $\text{H}(\text{気})$ 2 mol とヨウ素原子 $\text{I}(\text{気})$ 2 mol」のもつエネルギーは、「水素 $\text{H}_2(\text{気})$ 1 mol とヨウ素 $\text{I}_2(\text{気})$ 1 mol」のもつエネルギーより大きい。よって、④が適当である。

5 …④

問5 反応熱の計算

問題に与えられた熱化学方程式を(1)式～(4)式とする。



(1)式は、(3)式 \times 2+(4)式-(2)式より得られるので、

$$Q = 394 \text{ kJ} \times 2 + 286 \text{ kJ} - (-228 \text{ kJ}) = 1302 \text{ kJ}$$

【別解】

(1)式は $\text{C}_2\text{H}_2(\text{気})$ の燃焼熱を、(2)式～(4)式はそれぞれ、 $\text{C}_2\text{H}_2(\text{気})$ 、 $\text{CO}_2(\text{気})$ 、 $\text{H}_2\text{O}(\text{液})$ の生成熱を表している。 $\text{C}_2\text{H}_2(\text{気})$ 、 $\text{CO}_2(\text{気})$ 、 $\text{H}_2\text{O}(\text{液})$ の生成熱は、それぞれ -228 kJ/mol 、 394 kJ/mol 、 286 kJ/mol である。(1)式について、「反応熱 = 生成物の生成熱の総和 - 反応物の生成熱の総和」より、

$$Q = 394 \text{ kJ} \times 2 + 286 \text{ kJ} - (-228 \text{ kJ}) = 1302 \text{ kJ}$$

6 …⑥

第4問 電池、電気分解、反応速度、化学平衡

問1 電池

一般に、2種類の金属およびその塩の水溶液を用いて電池をつくると、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。

反応熱と結合エネルギーの関係

反応熱

$$= (\text{生成物の結合エネルギーの総和}) - (\text{反応物の結合エネルギーの総和})$$

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。

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。

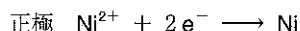
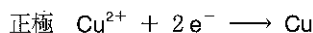
反応熱と生成熱の関係

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

問題の図1の電池について、Xが負極、Yが正極になるので、イオン化傾向はX>Yである。また、図2の電池について、Xが正極、Zが負極になるので、イオン化傾向はZ>Xである。よって、イオン化傾向は、Z>X>Yであることがわかる。

イオン化傾向はZn>Ni>Cuなので、XがNi、YがCu、ZがZnである。

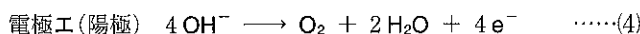
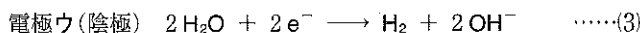
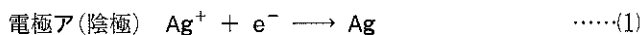
なお、各電池の電極では、次の反応が起こっている。



1 ... ⑥

問2 電気分解

電源の負極側に接続されている電極アおよびウが陰極、正極側に接続されている電極イおよびエが陽極である。各電極では、次の反応が起こる。



a 電極アの質量が0.540 g増加したので、析出したAgの物質量は、

$$\frac{0.540 \text{ g}}{108 \text{ g/mol}} = 5.00 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

(1)式より、 e^- 1 molあたりAgが1 mol析出するので、流れた e^- の物質量は $5.00 \times 10^{-3} \text{ mol}$ である。よって、流れた電気量は、

$$9.65 \times 10^4 \text{ C/mol} \times 5.00 \times 10^{-3} \text{ mol} = 482.5 \approx 483 \text{ C}$$

2 ... ⑥

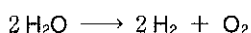
b ① 正しい。電極イは陽極であり、酸化反応が起こる。

② 正しい。(3)式より、電極ウでは H_2 が発生する。

③ 正しい。(4)式より、電極エでは O_2 が発生する。

④ 誤り。(1)式、(2)式より、 e^- 1 molあたり、電極アで Ag^+ が1 mol反応し、電極イで Ag^+ が1 mol生成するので、溶液中の Ag^+ の物質量は変化しない。また、 NO_3^- は変化しないので、電解槽Aの水溶液に含まれる AgNO_3 の物質量は変化しない。

⑤ 正しい。(3)式 $\times 2 +$ (4)式より、電解槽B全体の反応は次のようになり、水の電気分解が起こったことがわかる。

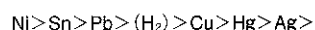


よって、電解槽Bの水溶液に含まれるNaOHの物質量は変化しない。

3 ... 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。

外部回路を電子は負極から正極に流れ、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

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. H_2O (電解液が中性、酸性のとき)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 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。

ファラデー定数

電子1 molのもつ電気量の絶対値。

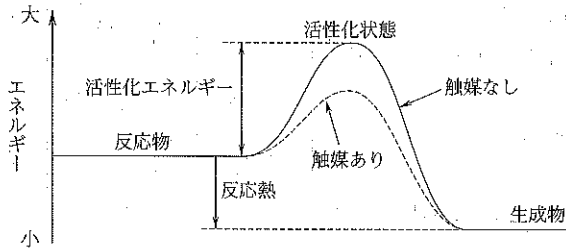
$$F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$$

問3 反応速度

① 正しい。反応が起こるためには、反応物が活性化エネルギー以上のエネルギーをもつ必要がある。温度を高くすると、粒子の熱運動が激しくなり、活性化エネルギー以上のエネルギーをもつ粒子の割合が増えるので、反応速度は大きくなる。

② 正しい。反応が起こるためには、反応物の粒子どうしが衝突する必要がある。反応物の濃度を大きくすると、単位時間あたりの粒子どうしの衝突回数が増えるので、反応速度は大きくなる。

③ 誤り。触媒を加えると、活性化エネルギーの小さい反応経路を経て反応するので、反応速度は大きくなる。しかし、反応物と生成物のもつエネルギーは変化しないので、反応熱は変化しない。

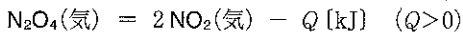


④ 正しい。固体の反応では、反応物を粉末状にした方が、塊状より表面積が大きくなり、単位時間あたりの粒子どうしの接触できる数が増えるので、反応速度は大きくなる。

4 ... ③

問4 化学平衡

a $\text{N}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ の正反応は吸熱反応なので、熱化学方程式は次のように表される。



ア 体積を一定に保ち、温度を高くすると、ルシャトリエの原理より、平衡は吸熱反応の方向に移動する。よって、平衡は右へ移動する。

イ 温度を一定に保ち、圧力を大きくすると、ルシャトリエの原理より、平衡は気体の総物質量が減少する方向に移動する。よって、平衡は左へ移動する。

ウ 温度と体積を一定に保ち、 N_2O_4 を加えると、ルシャトリエの原理より、平衡は N_2O_4 が減少する方向に移動する。よって、平衡は右へ移動する。

エ 温度と体積を一定に保ち、Ar を加えても、 N_2O_4 および NO_2 の分圧(濃度)は変化しない。よって、平衡は移動しない。

以上より、平衡が右へ移動する操作は、②ア・ウである。

なお、温度と全圧を一定に保ち、Ar を加えると、 N_2O_4 および NO_2 の分圧(濃度)は小さくなるので、ルシャトリエの原理より、

反応速度

- ・反応物の濃度を大きくすると、反応速度は大きくなる。
- ・温度を高くすると、反応速度は大きくなる。
- ・触媒を加えると、反応速度は大きくなる。

化学平衡

可逆反応において、正反応と逆反応の反応速度が等しくなり、反応物と生成物の量(物質質量、濃度、分圧など)が変化しなくなる状態。

ルシャトリエの原理

一般に、平衡が成立しているときの条件を変えると、その条件変化による影響を緩和する方向に平衡が移動する。

- ・温度を上げると、吸熱反応の方向に平衡は移動する。
- ・圧力を大きくすると、気体の総分子数(総物質質量)が減少する方向に平衡は移動する。
- ・物質の濃度を増加させると、その物質が反応して減少する方向に平衡は移動する。

なお、逆の条件変化に対しては、それぞれ逆の方向に平衡は移動する。

また、触媒の有無は平衡移動に関係ない。

平衡は気体の総物質質量が増加する方向、すなわち、右へ移動する。

5 ... ②

b 平衡状態における N_2O_4 の物質質量を x [mol] とすると、平衡定数 $K = 4.0 \times 10^{-2}$ mol/L なので、

$$K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = \frac{\left(\frac{0.20 \text{ mol}}{10 \text{ L}}\right)^2}{\frac{x \text{ [mol]}}{10 \text{ L}}} = 4.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$x = 0.10 \text{ mol}$$

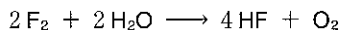
6 ... ①

第5問 無機物質

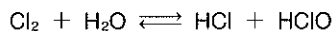
問1 ハロゲンの単体と化合物

a ハロゲンの単体では、分子量が大きいものほどファンデルワールス力が強くなるので、融点や沸点は高くなる。常温・常圧でフッ素 F_2 と塩素 Cl_2 は気体、臭素 Br_2 は液体、ヨウ素 I_2 は固体である。

b F_2 は、水と激しく反応して酸素を発生する。



なお、 Cl_2 は水に溶解、その一部が水と次のように反応して HCl と次亜塩素酸 HClO を生じる。



c フッ化水素 HF の水溶液であるフッ化水素酸は弱い酸性を示す。なお、 HCl 、 HBr 、 HI の水溶液はいずれも強い酸性を示す。

以上より、a は Br_2 、b は F_2 、c は HF である。

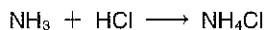
1 ... ①

問2 窒素の単体と化合物

① 正しい。窒素 N_2 の沸点は -196°C と低いため、液体窒素は冷却剤として利用される。

② 正しい。アンモニア NH_3 は無色・刺激臭の気体である。また、 NH_3 (分子量 17) は空気 (平均分子量 29) より軽い。

③ 正しい。 NH_3 に濃塩酸をつけたガラス棒を近づけると、塩化アンモニウム NH_4Cl の白煙が生じる。



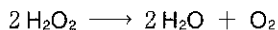
④ 誤り。鉄 Fe は、不動態になるため濃硝酸には溶解しない。

⑤ 正しい。濃硝酸は、光や熱で分解するので、褐色びんに入れて冷暗所に保存する。

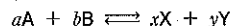
2 ... ④

問3 酸素の実験室的製法と性質

酸化マンガン(IV) MnO_2 に過酸化水素 H_2O_2 水を加えると、 MnO_2 が触媒としてはたらき、酸素 O_2 が発生する。



化学平衡(質量作用)の法則



この可逆反応の平衡定数 K は次式で表される。

$$K = \frac{[\text{X}]^x [\text{Y}]^y}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b}$$

([] : 平衡状態における各物質のモル濃度)

平衡定数は、温度が一定ならば一定の値となる。

ハロゲンの単体

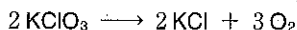
	色	状態	酸化力
F_2	淡黄	気体	強
Cl_2	黄緑	気体	↑
Br_2	赤褐	液体	↓
I_2	黒紫	固体	弱

不動態

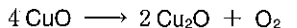
Al 、 Fe 、 Ni などに濃硝酸を加えると、金属表面に緻密な酸化被膜が形成され、内部が保護されて溶解しなくなる。このような状態を不動態という。

① 正しい。O₂は、水に溶けにくいので、水上置換で捕集するのが適当である。

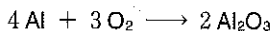
② 正しい。塩素酸カリウム KClO₃ に MnO₂ を加えて加熱すると、O₂ が発生する。この反応でも MnO₂ は触媒としてはたらく。



③ 誤り。O₂ を酸化銅(Ⅱ) CuO に触れさせても反応は起こらない。なお、CuO を 1000℃ 以上に加熱すると、赤色の酸化銅(Ⅰ) Cu₂O と O₂ に分解する。



④ 正しい。O₂ を捕集した試験管にアルミニウム箔を入れて点火すると、Al は激しく燃焼し、酸化アルミニウムが生成する。

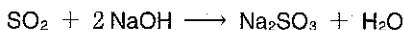


⑤ 正しい。O₂ の同素体であるオゾン O₃ は、紫外線を吸収する性質がある。なお、地上 20~40 km の上空にはオゾン層とよばれるオゾン濃度が高い部分があり、太陽からの有害な紫外線の大部分がオゾン層で吸収されている。

3 … ③

問4 酸化物

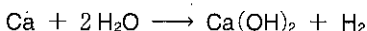
常温・常圧で気体であるものは、CO と SO₂ である。このうち、CO は無色・無臭、SO₂ は無色・刺激臭である。また、SO₂ は酸性酸化物であり、水酸化ナトリウム水溶液と次のように反応する。



4 … ④

問5 カルシウムとマグネシウム

a Ca の単体は、常温の水と反応するが、Mg は常温の水とは反応しない。なお、Mg も高温の水とは反応する。Ca と水の反応は次式で表される。



b 硫酸カルシウム CaSO₄ は水に溶けにくい、硫酸マグネシウム MgSO₄ は水に溶ける。

c Ca は橙赤色の炎色反応を示すが、Mg は炎色反応を示さない。

よって、Ca には当てはまるが、Mg には当てはまらないものは、a・c である。なお、Mg は、同じ 2 族元素であるが、アルカリ土類金属(Ca, Sr, Ba など)とは性質が異なる点が多いので、アルカリ土類金属には属さない。

5 … ⑤

問6 アンモニアソーダ法

塩化ナトリウムの飽和水溶液にアンモニアを十分に吸収させてから二酸化炭素を吹き込むと、炭酸水素ナトリウムが沈殿する。

気体の捕集法

水上置換 水に溶けにくい気体(H₂, O₂ など)の捕集に用いる。

下方置換 水に溶け、空気より重い気体(HCl, NO₂, SO₂ など)の捕集に用いる。

上方置換 水に溶け、空気より軽い気体(NH₃)の捕集に用いる。

酸性酸化物 水に溶けて酸性を示したり、塩基と反応する酸化物。CO₂, SO₂ など非金属元素の酸化物に多い。

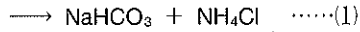
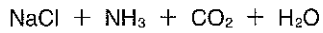
塩基性酸化物 水に溶けて塩基性を示したり、酸と反応する酸化物。Na₂O, CaO など金属元素の酸化物に多い。

両性酸化物 酸とも強塩基とも反応する酸化物。Al₂O₃, ZnO など両性元素の酸化物。

炎色反応

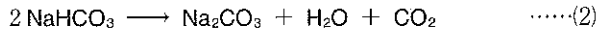
ある種の元素を含む物質を炎の中に入れると、その元素に特有の色が現れる。これを炎色反応という。おもな元素の炎色反応は次のとおりである。

Li: 赤 Na: 黄 K: 赤紫
Ba: 黄緑 Ca: 橙赤 Cu: 青緑
Sr: 紅(深赤)



(1)式の反応では、用いた NaCl と等しい物質量の NaHCO₃ が得られる。

次に、炭酸水素ナトリウムを分離して熱分解すると、炭酸ナトリウムが得られる。



(2)式の反応では、NaHCO₃ の $\frac{1}{2}$ の物質量の Na₂CO₃ が得られる。

よって、NaCl (58.5 g/mol) 58.5 kg から得られる Na₂CO₃ (106 g/mol) の質量は、

$$106 \text{ g/mol} \times \frac{58.5 \times 10^3 \text{ g}}{58.5 \text{ g/mol}} \times \frac{1}{2} = 53.0 \times 10^3 \text{ g} = 53.0 \text{ kg}$$

6 …③