

クラス		受験番号	
出席番号		氏名	

2015年度 第3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10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 .....	40
数学 II ・ 数学 B .....	50
• 理 科	
理科①	
物理基礎 .....	74
化学基礎 .....	81
生物基礎 .....	89
地学基礎 .....	95
理科②	
物理 .....	106
化学 .....	117
生物 .....	133
地学 .....	147
<p>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。</p>	

河合塾



1560630119502140



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	1	4	
	問3	3	2	4	
		4	3	4	
	問4	5	2	4	
第1問 自己採点小計				(19)	
第2問	問1	1	1	4	
	問2	2	3	4	
	問3	3	4	4	
	問4	4	3	3	
	問5	5	2	4	
第2問 自己採点小計				(19)	
第3問	問1	1	4	3	
	問2	2	5	4	
	問3	3	6	4	
	問4	4	1	3	
	問5	5	5	4	
		6	1	3	
第3問 自己採点小計				(21)	
第4問	問1	1	3	3	
	問2	2	5	3	
	問3	3	3	4	
	問4	4	2	4	
	問5	5	4	3	
	問6	6	1	4	
第4問 自己採点小計				(21)	
第5問	問1	1	2	3	
	問2	2	3	3	
	問3	3	5	4	
	問4	4	2	3	
	問5	5	7	4	
	問6	6	3	3	
第5問 自己採点小計				(20)	
自己採点合計				(100)	

**【解説】**

**第1問 化学結合, 気体, 蒸気圧**

**問1 物質の融点**

②酸化アルミニウム  $\text{Al}_2\text{O}_3$  のようなイオン結晶の融点は, 分子からなる物質 (①塩化水素  $\text{HCl}$ , ③水  $\text{H}_2\text{O}$ ) や金属 (④水銀  $\text{Hg}$ , ⑤ナトリウム  $\text{Na}$ ) の融点より高い傾向にある。常温・常圧で  $\text{Hg}$  と  $\text{H}_2\text{O}$  は液体,  $\text{HCl}$  は気体であることから固体である  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (融点  $2072^\circ\text{C}$ ) の融点の方が高いことがわかる。また,  $\text{Na}$  (融点  $98^\circ\text{C}$ ) などのアルカリ金属は, 水銀を除く金属の中では融点が高い。

1 ... ②

**問2 結晶の性質**

a 結晶に電気伝導性はないが, 融解すると電気伝導性があるのは, イオン結晶の特徴である。これに該当するものは, ①塩化カリウム  $\text{KCl}$  と④塩化銀  $\text{AgCl}$  である。

b  $\text{KCl}$  は水によく溶けるが,  $\text{AgCl}$  は水に溶けにくい。よって, 答えは①  $\text{KCl}$  である。

2 ... ①

**問3 気体, 蒸気圧**

a メタン  $\text{CH}_4$   $2.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$  と酸素  $\text{O}_2$   $8.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$  の物質量の合計は  $1.00 \times 10^{-1} \text{ mol}$  である。この混合気体を容積一定の密閉容器に入れて  $27^\circ\text{C}$  に保ったところ, 全圧が  $1.5 \times 10^5 \text{ Pa}$  になったので, 容器の容積を  $V [\text{L}]$  とすると, 理想気体の状態方程式から,

$$V = \frac{1.00 \times 10^{-1} \text{ mol} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times (273 + 27) \text{ K}}{1.5 \times 10^5 \text{ Pa}} = 1.66 \approx 1.7 \text{ L}$$

3 ... ②

b  $\text{CH}_4$  の完全燃焼の反応と反応前後の量的関係を次に示す。

	$\text{CH}_4$	$+ 2\text{O}_2$	$\longrightarrow$	$\text{CO}_2$	$+ 2\text{H}_2\text{O}$	
反応前	2.0	8.0		0	0	
変化量	-2.0	-4.0		+2.0	+4.0	
反応後	0	4.0		2.0	4.0	

単位 [ $\times 10^{-2} \text{ mol}$ ]

生成した  $\text{H}_2\text{O}$  がすべて気体ならば, その圧力  $p_{\text{H}_2\text{O}}$  [Pa] は, 理想気体の状態方程式より,

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{4.0 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times (273 + 27) \text{ K}}{1.66 \text{ L}} = 6.0 \times 10^4 \text{ Pa}$$

この圧力は,  $27^\circ\text{C}$  での水の飽和蒸気圧 ( $4.0 \times 10^3 \text{ Pa}$ ) を超えているので, 水は気液平衡の状態になっており, 水蒸気分圧は,

**【ポイント】**

**結晶の分類と電気伝導性**

**共有結合の結晶** 原子が次々と共有結合によって結びついた結晶。一般に, 電気伝導性がないが, 黒鉛は電気伝導性がある。

**イオン結晶** 陽イオンと陰イオンがイオン結合によって結びついた結晶。

固体の状態では電気伝導性はないが, 液体または水溶液の状態では電気伝導性がある。

**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)によって結びついた結晶。電気伝導性はない。

**金属結晶** 金属原子が金属結合によって結びついた結晶。電気伝導性がある。

**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

**気液平衡**

液体物質を密閉容器に入れて放置したとき, 単位時間あたりに「蒸発する分子の数」と「凝縮する分子の数」が等しくなった状態。

$4.0 \times 10^3 \text{ Pa}$  である。

一方、 $\text{O}_2$  と  $\text{CO}_2$  の物質量の和が  $6.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$  であることから、 $\text{O}_2$  と  $\text{CO}_2$  の分圧の和を  $p$  [Pa] とすると、理想気体の状態方程式より、

$$p = \frac{6.0 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times (273 + 27) \text{ K}}{1.66 \text{ L}}$$

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

全圧は、 $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}_2$  および水蒸気分圧の和より、

$$9.0 \times 10^4 \text{ Pa} + 4.0 \times 10^3 \text{ Pa} = 9.4 \times 10^4 \text{ Pa}$$

なお、水がすべて気体と仮定したときの水蒸気分圧  $p_{\text{H}_2\text{O}}$  [Pa] は、次のように求めることもできる。

同温・同体積では、気体の圧力は、物質量に比例する。気体の総物質量が  $1.00 \times 10^{-1} \text{ mol}$  のとき圧力は  $1.5 \times 10^5 \text{ Pa}$  なので、

$$1.5 \times 10^5 \text{ Pa} \times \frac{4.0 \times 10^{-2} \text{ mol}}{1.00 \times 10^{-1} \text{ mol}} = 6.0 \times 10^4 \text{ Pa}$$

同様に、 $6.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$  の気体の圧力  $p$  [Pa] は次のように求めることもできる。

$$1.5 \times 10^5 \text{ Pa} \times \frac{6.0 \times 10^{-2} \text{ mol}}{1.00 \times 10^{-1} \text{ mol}} = 9.0 \times 10^4 \text{ Pa}$$

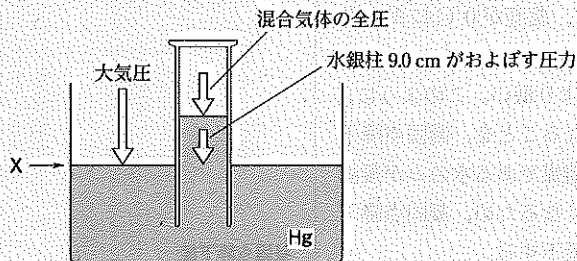
4 ... ③

#### 問4 混合気体の圧力

次の図のように水銀面Xにかかる圧力のつり合いより、

(大気圧) = (混合気体の全圧) + (水銀柱 9.0 cm がおよぼす圧力) が成り立つ。よって、Aの部分に入っている  $\text{N}_2$  と  $\text{O}_2$  の混合気体の全圧は、

$$760 \text{ mmHg} - 90 \text{ mmHg} = 670 \text{ mmHg}$$



成分気体の分圧は(全圧) × (モル分率) になるので、 $\text{N}_2$  の分圧は、

$$1.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times \frac{670 \text{ mmHg}}{760 \text{ mmHg}} \times \frac{3}{3+2} = 5.28 \times 10^4$$

$$\approx 5.3 \times 10^4 \text{ Pa}$$

5 ... ④

#### 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、気体の体積に依存しない。

#### 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。

全圧 = 分圧の総和(ドルトンの分圧の法則)

分圧の比 = 物質量の比

## 第2問 溶解度, 希薄溶液, 化学変化と熱・光

### 問1 固体の溶解度

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  0.0500 mol には, 0.0500 mol の  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (142 g/mol) と  $0.0500 \text{ mol} \times 10 = 0.500 \text{ mol}$  の  $\text{H}_2\text{O}$  (18 g/mol) が含まれる。それぞれを質量で表すと,

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdots \cdots 142 \text{ g/mol} \times 0.0500 \text{ mol} = 7.10 \text{ g}$$

$$\text{H}_2\text{O} \cdots \cdots 18 \text{ g/mol} \times 0.500 \text{ mol} = 9.0 \text{ g}$$

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  0.0500 mol をすべて溶かすために必要な水の質量を  $x$  [g] とする。この水溶液に含まれる  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  は 7.10 g, 水は  $(9.0+x)$  [g] である。

水 100 g あたり 20.0 g の  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  を溶かすことができるので,

$$\frac{\text{溶質}}{\text{溶媒}} = \frac{7.10 \text{ g}}{(9.0+x) \text{ [g]}} = \frac{20.0}{100}$$

$$x = 26.5 \text{ g}$$

なお,  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (322 g/mol) 0.0500 mol の質量は,

$$322 \text{ g/mol} \times 0.0500 \text{ mol} = 16.1 \text{ g}$$

であり, 水 100 g あたり, 20.0 g の  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  を溶かすことができるので,

$$\frac{\text{溶質}}{\text{溶液}} = \frac{7.10 \text{ g}}{(16.1+x) \text{ [g]}} = \frac{20.0}{20.0+100}$$

$$x = 26.5 \text{ g}$$

1 … 0

### 問2 凝固点降下

水の凝固点は  $0^\circ\text{C}$  である。水を冷却すると, 凝固点(点ア')に達してもすぐに凝固は始まらず, 過冷却(点ア'~点イ')が起こる。点イ'で凝固が始まり, 凝固熱により, 凝固点(点ウ'  $0^\circ\text{C}$ )まで温度が上昇する。凝固が進行している間は, 温度が  $0^\circ\text{C}$  に保たれる。

塩化ナトリウム水溶液の凝固点は  $0^\circ\text{C}$  より低い。このように, 溶液の凝固点が純溶媒の凝固点より低くなることを, 凝固点降下という。希薄な水溶液を冷却した場合, 溶媒である水のみが凝固していき, それに伴い溶液の濃度が大きくなるため, 凝固点降下度が大きくなる。よって, 温度が次第に低下する。

また, 溶液の凝固点は, 過冷却が起こらなかったと仮定したときの, 溶媒の凝固が始まると考えられる温度に相当し, 図の点アの温度( $t_0$ )がこれに該当する。実際には, 凝固点(点ア')に達してもすぐに溶媒の凝固は始まらず, 過冷却(点ア'~点イ')が起こる。点イ'で溶媒の凝固が開始し, 凝固熱により温度が上昇する。

#### 固体の溶解度

一定量の溶媒に溶ける溶質の最大量。

固体の溶解度はふつう, 「溶媒 100 g に溶ける溶質(無水物)の質量[g]」で表される。

温度が一定のとき, 飽和溶液について, 次の式が成り立つ。

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

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

#### 凝固点降下度

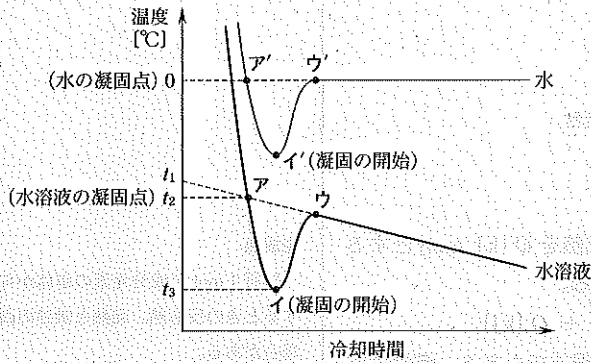
$$\Delta t = K_f m$$

$\Delta t$  [K]: 凝固点降下度

$m$  (mol/kg): 溶液の質量モル濃度

ただし, 電解質溶液では, 溶質粒子全体の質量モル濃度。

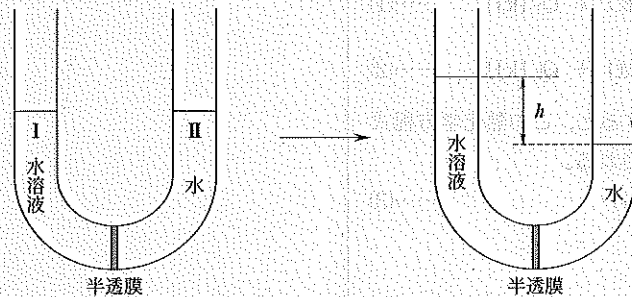
$K_f$  [K·kg/mol]: モル凝固点降下



2...③

### 問3 浸透圧

水溶液と純水が、半透膜を隔てて接すると、純水側から水溶液側へ水が浸透し、水溶液側の液面が高くなる。よって、I側に水溶液を、II側に水を入れればよい。



浸透圧は、溶質粒子のモル濃度に比例する。また、浸透圧が大きいほど、液面差  $h$  は大きくなる。

I スクロースは非電解質であり、溶質粒子のモル濃度は、 $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$  である。

ウ 塩化カルシウム  $\text{CaCl}_2$  は電解質であり、次のように電離するので、溶質粒子のモル濃度は、 $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \times 3 = 3.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$  である。



以上より、Iの浸透圧よりウの浸透圧の方が大きく、 $h$  が最も大きくなる組合せは、I側にウ ( $\text{CaCl}_2$  水溶液)、II側にア (水) である。

3...④

### 問4 熱と光

① 正しい。気体のもつエネルギーは、固体のもつエネルギーより大きい。よって、固体が気体に状態変化(昇華)するとき、熱を吸収する。

### 半透膜

溶液中のある成分は通すが、他の成分は通さない膜。セロハンや動物のぼうこう膜などがある。

### 浸透圧(ファントホッフの法則)

$$\Pi = cRT$$

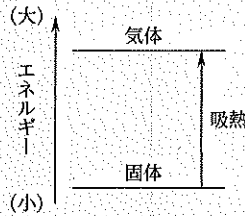
$\Pi$  [Pa]: 溶液の浸透圧

$c$  [mol/L]: 溶液のモル濃度

ただし、電解質溶液では、溶質粒子全体のモル濃度。

$T$  [K]: 絶対温度

$R$  [Pa·L/(K·mol)]: 気体定数

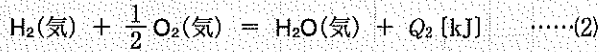
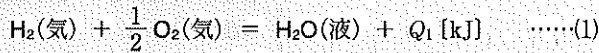


② 正しい。気体の二酸化炭素の生成熱を  $Q$  [kJ/mol] とすると、この熱化学方程式は次の式で表される。

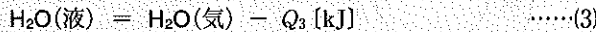


これは、黒鉛の燃焼熱を表す熱化学方程式でもある。燃焼はすべて発熱反応なので、 $Q$  の値は正である。

③ 誤り。液体の水の生成熱を  $Q_1$  [kJ/mol]、気体の水の生成熱を  $Q_2$  [kJ/mol] とすると、これらの熱化学方程式は次の式で表される。



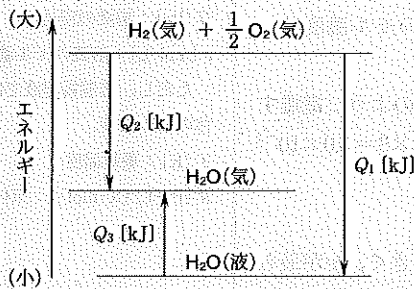
また、水の蒸発熱を  $Q_3$  [kJ/mol] とすると、この熱化学方程式は次の式で表され、蒸発では熱は吸収される。



(1)式 = (2)式 - (3)式より、

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

よって、液体の水の生成熱  $Q_1$  [kJ/mol] は、気体の水の生成熱  $Q_2$  [kJ/mol] より大きい。

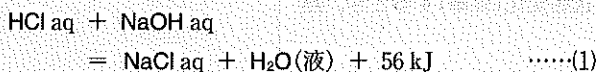


④ 正しい。物質がエネルギーの高い状態から、エネルギーの低い状態へ移るときに光を放出する現象を、化学発光という。

4 … ③

### 問5 溶解熱と中和熱

与えられた熱化学方程式は次の2つである。



(1)式は HCl 水溶液と NaOH 水溶液の中和熱が 56 kJ/mol であることを、(2)式は固体の NaOH の水への溶解熱が 44 kJ/mol であ

#### 生成熱

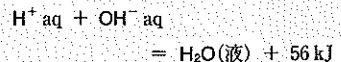
物質 1 mol が成分元素の単体から生成するときの反応熱。発熱と吸熱の両方の場合がある。

#### 燃焼熱

物質 1 mol が完全燃焼するときの反応熱。発熱のみ。

#### 中和熱

水溶液中で酸と塩基から  $\text{H}_2\text{O}$  1 mol が生成するとき発生する熱量。強酸と強塩基の中和熱の値は、酸、塩基の種類によらず、ほぼ 56 kJ/mol である。





ることを表している。

0.50 mol/L の HCl 水溶液 100 mL に含まれる HCl の物質量は、

$$0.50 \text{ mol/L} \times \frac{100}{1000} \text{ L} = 0.050 \text{ mol}$$

4.0 g の水酸化ナトリウム NaOH (40 g/mol) の物質量は、

$$\frac{4.0 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0.10 \text{ mol}$$

0.50 mol/L の HCl 水溶液 100 mL に 0.10 mol の NaOH を溶かしたときに発生する熱量は、次の 2 つの過程 (A) と (B) に分けて考えることができる。

(A) 0.10 mol の NaOH が溶解

$$44 \text{ kJ/mol} \times 0.10 \text{ mol} = 4.4 \text{ kJ}$$

(B) 水溶液中で 0.050 mol の HCl と NaOH が中和(このとき、NaOH は過剰にあるので、反応量は HCl の物質量で決まり、生じる H<sub>2</sub>O は 0.050 mol である)

$$56 \text{ kJ/mol} \times 0.050 \text{ mol} = 2.8 \text{ kJ}$$

よって、発生する熱量は、

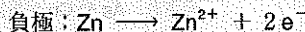
$$4.4 \text{ kJ} + 2.8 \text{ kJ} = 7.2 \text{ kJ}$$

5 … ②

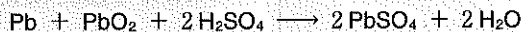
### 第 3 問 電池、電気分解、酸化還元反応、反応速度、化学平衡

#### 問 1 電池

① 正しい。マンガン乾電池の負極活物質には亜鉛が用いられ、酸化されて電子を放出する。



② 正しい。鉛蓄電池を放電させると、電池全体では次の反応が起こる。



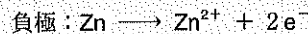
よって、溶質である H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> が消費され、同じ物質量の H<sub>2</sub>O が生成する。H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> の質量の減少分の方が、H<sub>2</sub>O の質量の増加分より大きいので希硫酸の質量は減少する。

③ 正しい。リン酸水溶液を電解液に用いた水素-酸素燃料電池では、負極、正極でそれぞれ次の反応が起こる。



このように、正極では酸素が還元される。

④ 誤り。ダニエル電池では硫酸銅(II)水溶液に浸した銅電極が正極であり、正極と負極ではそれぞれ次の反応が起こる。



正極では銅が析出し、気体は発生しない。

⑤ 正しい。リチウムイオン電池は充電が可能な二次電池(蓄

#### 溶解熱

物質 1 mol が多量の水に溶解するときの反応熱。発熱と吸熱の両方の場合がある。

#### 電池の放電

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<sup>-</sup> は負極から正極へ移動し、電流は正極から負極に流れる。

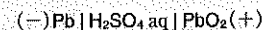
#### 活物質

電池において、電子を与える物質である還元剤や電子を受け取る物質である酸化剤を活物質という。

#### マンガン乾電池



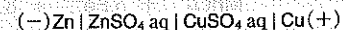
#### 鉛蓄電池



#### 燃料電池(水素-酸素燃料電池)



#### ダニエル電池



#### 一次電池と二次電池

一次電池…充電による再利用ができない電池。

二次電池…充電により、くり返し使える電池。

電池)であり、携帯電話、ノートパソコン、電気自動車などに使われる。

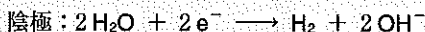
1...④

### 問2 硫酸ナトリウム水溶液の電気分解

この電気分解によって流れた電子の物質量は、

$$\frac{0.50 \text{ A} \times 1930 \text{ 秒}}{9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}} = 0.010 \text{ mol}$$

白金電極を用いた陽極、陰極で起こる反応はそれぞれ、



① 正しい。陽極と陰極で発生する  $\text{O}_2$  と  $\text{H}_2$  の物質量は、それぞれ流れた電子の物質量の  $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{2}$  だから、気体の体積比 = 物質比より、

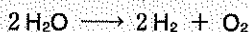
$$\text{O}_2(\text{陽極}) : \text{H}_2(\text{陰極}) = \frac{1}{4} : \frac{1}{2} = 1 : 2$$

② 正しい。陽極で発生する  $\text{O}_2$  の体積は、標準状態で、

$$22.4 \text{ L/mol} \times 0.010 \text{ mol} \times \frac{1}{4} = 5.6 \times 10^{-2} \text{ L} = 56 \text{ mL}$$

③ 正しい。陰極を銅板に変えても陰極で起こる反応は変わらない。

④ 正しい。陽極と陰極で起こる反応をまとめると、



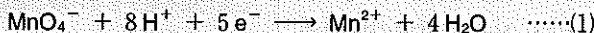
これは、水の電気分解であり、電気分解によって溶液中の硫酸ナトリウムは消費されない。

⑤ 誤り。陽極で生成する  $\text{H}^+$  と陰極で生成する  $\text{OH}^-$  の物質量が等しいので、pH は変化しない。

2...⑥

### 問3 酸化還元反応

与えられた電子を含むイオン反応式は、

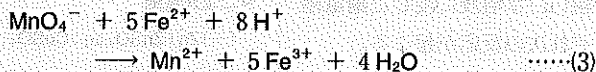


$\text{FeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  の式量を、 $n$  を用いて表すと  $152 + 18n$  であり、酸化剤と還元剤の  $\text{e}^-$  の授受の関係から、

$$0.0500 \text{ mol/L} \times \frac{20.0}{1000} \text{ L} \times 5 = \frac{1.39 \text{ g}}{152 + 18n \text{ [g/mol]}} \times 1$$

$$n = 7$$

[別解] (1)+(2)×5 より、 $\text{e}^-$  を消去すると、



反応する  $\text{MnO}_4^-$  と  $\text{Fe}^{2+}$  において、物質比 = 係数比より、

$$0.0500 \text{ mol/L} \times \frac{20.0}{1000} \text{ L} : \frac{1.39 \text{ g}}{152 + 18n \text{ [g/mol]}} = 1 : 5$$

$$n = 7$$

### 電気量と電流

$$\text{電気量 [C]} = \text{電流 [A]} \times \text{時間 [秒]}$$

ファラデー定数 [C/mol]

電子 1 mol のもつ電気量の絶対値。

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

### 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  $\text{H}_2\text{O}$  が、電解液が塩基性のときには  $\text{OH}^-$  が酸化され、 $\text{O}_2$  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  $\text{Ag}^+$  や  $\text{Cu}^{2+}$  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  $\text{H}_2\text{O}$  が、電解液が酸性のときには  $\text{H}^+$  が還元され、 $\text{H}_2$  が発生する。

### 酸化還元反応で授受される電子の量的関係

(酸化剤が得る  $\text{e}^-$  の物質量)

= (還元剤が失う  $\text{e}^-$  の物質量)

3...⑥

## 問4 反応速度式

$A + 2B \longrightarrow 2C$ において、 $C$ の生成速度 $v$ は、反応速度定数 $k$ と反応物のモル濃度 $[A]$ 、 $[B]$ を用いて次のように表される。

$$v = k[A]^x[B]^y$$

この式を反応速度式といい、式中の $x$ 、 $y$ は実験によって求められる値であり、化学反応式の係数とは必ずしも一致しない。

実験1、2より、 $A$ の濃度のみを2倍にすると、 $v$ が2倍になったことから、 $v$ は $[A]$ に比例することがわかる。よって、 $x=1$

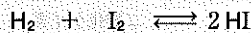
実験1、3より、 $B$ の濃度のみを3倍にすると、 $v$ が3倍になったことから、 $v$ は $[B]$ に比例することがわかる。よって、 $y=1$   
以上より反応速度式は、

$$v = k[A][B]$$

4...①

## 問5 化学平衡、平衡定数

a 容器内の $H_2$ 、 $I_2$ 、 $HI$ の量的関係は、



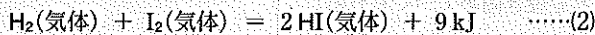
反応前	0.19	0.24	0
変化量	-0.15	-0.15	+0.30
平衡時	0.040	0.090	0.30 単位 [mol]

平衡時に1.0 Lの容器内に存在する気体のモル濃度より、(3)式から、

$$K = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} = \frac{\left(\frac{0.30 \text{ mol}}{1.0 \text{ L}}\right)^2}{\frac{0.040 \text{ mol}}{1.0 \text{ L}} \times \frac{0.090 \text{ mol}}{1.0 \text{ L}}} = 25$$

5...⑥

b 温度が一定ならば、平衡定数は一定の値になるので、③、④、⑤の操作によって平衡定数の値は変化しない。



(2)式より(1)式の正反応(右向き)は発熱反応である。温度を低くすると、ルシャトリエの原理から、(1)式の平衡は発熱の向き、すなわち右向きに移動する。よって、 $[HI]$ は増加し、 $[H_2]$ 、 $[I_2]$ は減少するので、(3)式の $K$ の値は大きくなる。

6...①

## 第4問 無機物質

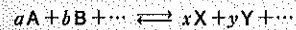
## 問1 気体の検出

炭酸水素ナトリウム $NaHCO_3$ を加熱すると、分解して二酸化炭素が発生する。



水酸化カルシウム $Ca(OH)_2$ 水溶液(石灰水)に二酸化炭素を通

## 化学平衡の法則



の可逆反応について、平衡定数 $K$ は、

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

のように決められる。

( [ ] : 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。

## 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は移動する。

- 温度を上げると、吸熱反応の方向に平衡は移動する。

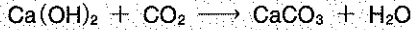
- 圧力を大きくすると、気体の総分子数(総物質質量)が減少する方向に平衡は移動する。

- 物質の濃度を増大させると、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無関係である。

じると、炭酸カルシウム  $\text{CaCO}_3$  の白色沈殿が生じる。



この反応は、二酸化炭素の検出として用いられる。なお、①、②、④、⑤の水溶液に二酸化炭素を通じても、沈殿は生成しない。

1...③

## 問2 ケイ素とその化合物

① 正しい。ケイ素は、岩石や鉱物の構成元素として、地殻中に酸素に次いで多く含まれる。

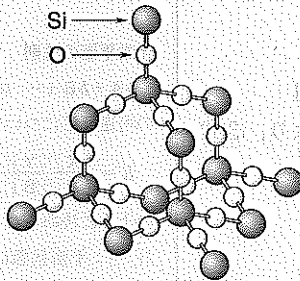
(参考) 地殻中の元素の割合(質量パーセント)

O : 46.6 % , Si : 27.7 % , Al : 8.1 % , Fe : 5.0 % ,

Ca : 3.6 %

② 正しい。電気伝導性が導体と絶縁体の中間の値を示す物質を半導体という。ケイ素の単体は、代表的な半導体であり、この性質を利用して、集積回路や太陽電池などに用いられている。

③ 正しい。二酸化ケイ素  $\text{SiO}_2$  は、ケイ素原子と酸素原子が共有結合で次々と結びついた共有結合の結晶であり、水晶、石英、ケイ砂などとして天然に存在している。



④ 正しい。ソーダ石灰ガラスは、 $\text{SiO}_2$  を主成分とするケイ砂を主原料とし、これに炭酸ナトリウムや炭酸カルシウムを加えて加熱、融解し、軟らかいうちに成形して固化させてつくられる。

なお、ガラス・セメント・陶磁器などは窯業製品あるいはセラミックスとよばれ、ケイ砂や粘土などを焼き固めてつくられる。

⑤ 誤り。シリカゲルはケイ酸  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  を加熱して脱水、乾燥させて得られる。シリカゲルは多孔質で、また、孔の表面には親水性の  $-\text{OH}$  の構造を多数もつため、水蒸気などを吸着する力が強く、乾燥剤や脱臭剤として用いられる。

なお、ケイ酸ナトリウム  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  に水を加えて加熱すると、粘性の大きな液体である水ガラスが得られる。水ガラスの水溶液に塩酸を加えると、ケイ酸の白色ゲル状の沈殿が生成し、これを加熱するとシリカゲルが生成する。

2...⑥

## 問3 塩素とその化合物

a 塩素は、実験室では、酸化マンガン(IV)  $\text{MnO}_2$  に濃塩酸を加え、加熱して得られる。

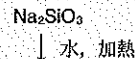
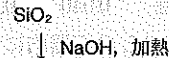
### ケイ素

灰黒色、金属光沢をもつダイヤモンドと類似した構造の共有結合の結晶。半導体。

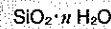
### 二酸化ケイ素

共有結合の結晶。水晶、石英、ケイ砂などとして天然に存在する。

(反応)



水ガラス



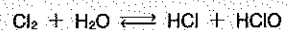
シリカゲル

### 塩素

黄緑色の気体。有毒。

空気より重い。

水に少し溶け、その一部が反応する。



実験室的製法

酸化マンガン(IV)に濃塩酸を加えて加熱する。

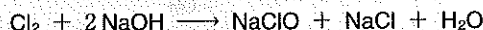
さらし粉に塩酸を加える。

工業的製法

塩化ナトリウム水溶液の電気分解(陽極で発生)



b 塩素を水酸化ナトリウム水溶液に通じると、次亜塩素酸ナトリウム NaClO と塩化ナトリウム NaCl が生じる。

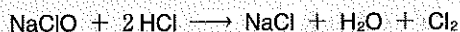


すなわち、**ア** は、次亜塩素酸ナトリウムである。

- ① 正しい。Mn の酸化数は +4 から +2 に減少している。
- ② 正しい。塩素は水に溶けるので、その捕集に水上置換は適さず、また、空気より重い気体なので下方置換で捕集する。
- ③ 誤り。NaClO では Cl の酸化数は +1 である。

(化合物中で、Na の酸化数は +1、O の酸化数は -2 なので、Cl の酸化数を  $x$  とすると、 $+1+x+(-2)=0$   $x=+1$ )

- ④ 正しい。NaClO は強い酸化剤であり、漂白剤や殺菌剤として広く使われている。
- ⑤ 正しい。NaClO に塩酸を加えると塩素が発生する。

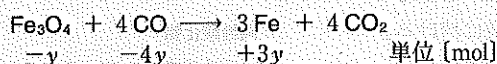
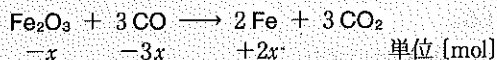


なお、塩素は極めて有毒な気体なので、NaClO を含む漂白剤や殺菌剤に塩酸を混ぜると危険である。

**3** …③

#### 問4 鉄の製錬、化学量計算

はかりとった混合物に含まれる酸化鉄(III)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  の物質量を  $x$  [mol]、四酸化三鉄  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の物質量を  $y$  [mol] とする。それぞれの酸化物が一酸化炭素 CO によって還元される化学反応式およびその量的関係は、以下のとおりである。



(-は反応して消費されたこと、+は生成したことを表す。)

反応した CO について、

$$3x \text{ [mol]} + 4y \text{ [mol]} = \frac{56.0 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 2.5 \text{ mol} \quad \dots\dots(1)$$

生成した Fe (56 g/mol) について、

$$2x \text{ [mol]} + 3y \text{ [mol]} = \frac{98.0 \text{ g}}{56 \text{ g/mol}} = 1.75 \text{ mol} \quad \dots\dots(2)$$

(1)式、(2)式から、

$$x = 0.50 \text{ mol}, y = 0.25 \text{ mol}$$

$$x : y = 2 : 1$$

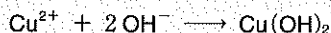
**4** …②

#### 問5 銅の化合物

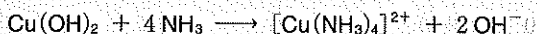
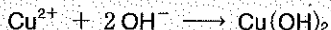
① 正しい。硫酸銅(II)五水和物  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  を加熱すると、徐々に水和水を失い、無水物の硫酸銅(II)  $\text{CuSO}_4$  になる。無水物は白色粉末状で、水を吸収すると再び五水和物になって青

色になるので、水の検出に使われる。

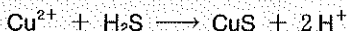
② 正しい。銅(Ⅱ)イオン  $\text{Cu}^{2+}$  を含む水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加えると、水酸化銅(Ⅱ)  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  の青白色の沈殿が生じる。



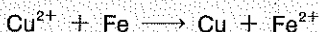
③ 正しい。 $\text{Cu}^{2+}$  を含む水溶液にアンモニア水を加えると、はじめは水酸化銅(Ⅱ)  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  の青白色の沈殿が生じるが、さらに加えると、この沈殿は溶けて、錯イオンであるテトラアンミン銅(Ⅱ)イオン  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  の深青色の溶液になる。



④ 誤り。 $\text{Cu}^{2+}$  を含む水溶液に硫化水素  $\text{H}_2\text{S}$  を通じると、硫化銅(Ⅱ)  $\text{CuS}$  の黒色沈殿が生じる。



⑤ 正しい。イオン化傾向は、 $\text{Fe} > \text{Cu}$  なので、 $\text{Cu}^{2+}$  を含む水溶液に鉄  $\text{Fe}$  を入れると、次の反応が起こり、 $\text{Cu}$  が析出する。



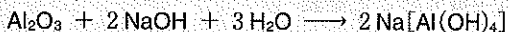
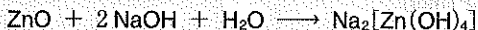
5 ... ④

## 問6 化合物の性質

① 誤り。塩化カリウム  $\text{KCl}$  の水溶液は無色だが、クロム酸カリウム  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  の水溶液は黄色である。なお、クロム酸カリウムは結晶も黄色である。

② 正しい。塩化カルシウム  $\text{CaCl}_2$ 、十酸化四リン  $\text{P}_4\text{O}_{10}$  は、いずれも吸湿性があり、乾燥剤として用いられる。

③ 正しい。酸化亜鉛  $\text{ZnO}$ 、酸化アルミニウム  $\text{Al}_2\text{O}_3$  はいずれも両性酸化物であり、水酸化ナトリウム水溶液に溶ける。



④ 正しい。硫酸カルシウム  $\text{CaSO}_4$ 、硫酸バリウム  $\text{BaSO}_4$  などアルカリ土類金属の硫酸塩は水に溶けにくい。なお、同じ2族元素の硫酸塩でも硫酸マグネシウム  $\text{MgSO}_4$  は水によく溶ける。

⑤ 正しい。塩化バリウム  $\text{BaCl}_2$  水溶液は黄緑色、塩化銅(Ⅱ)  $\text{CuCl}_2$  水溶液は青緑色の炎色反応を呈する。

6 ... ①

## 第5問 有機化合物

### 問1 炭化水素

① 正しい。エタン  $\text{C}_2\text{H}_6$  は一般式  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$  で表されるアルカンで、原子は、すべて単結合でつながっている。

$\text{Cu}^{2+}$  の反応

$\text{Cu}^{2+}$  青色

↓  $\text{OH}^-$

$\text{Cu}(\text{OH})_2$  青白色沈殿

↓  $\text{NH}_3$

$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  深青色溶液

$\text{Cu}^{2+}$

↓  $\text{H}_2\text{S}$

$\text{CuS}$  黒色沈殿

錯イオン

金属イオンに分子や陰イオン(配位子)が配位結合してできたイオン。

両性酸化物

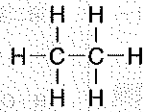
両性元素( $\text{Al}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{Pb}$  など)の酸化物。酸や強塩基に溶ける。

炎色反応

$\text{Li}$ : 赤,  $\text{Na}$ : 黄,  $\text{K}$ : 赤紫

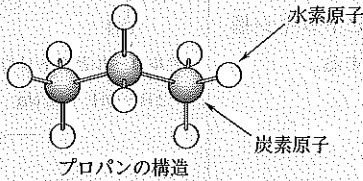
$\text{Ca}$ : 橙赤,  $\text{Sr}$ : 深赤(紅)

$\text{Ba}$ : 黄緑,  $\text{Cu}$ : 青緑

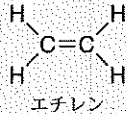


エタン

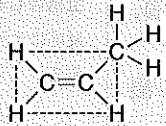
② 誤り。炭素原子が単結合を形成するとき、炭素原子を中心に置くと、4個の単結合は正四面体の頂点の方向に向く。よって、プロパン  $\text{C}_3\text{H}_8$  を構成している3つの炭素原子は、同一直線上には存在していない。



③ 正しい。エチレン  $\text{C}_2\text{H}_4$  は一般式  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$  で表されるアルケンで、2個の炭素原子は、二重結合でつながっている。

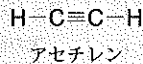


④ 正しい。二重結合を形成している2個の炭素原子と、それらと単結合を形成している原子(点線内の6個の原子)は常に同一平面上に存在する。よって、プロペン  $\text{C}_3\text{H}_6$  のすべての炭素原子は、同一平面上に存在している。



プロペンの同一平面上に常に存在する原子

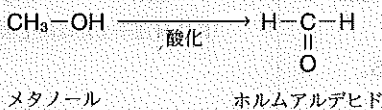
⑤ 正しい。炭素原子が1個の三重結合と1個の単結合を形成するとき、結合に関与した原子は同一直線上に存在する。よって、アセチレン  $\text{C}_2\text{H}_2$  のすべての原子は、同一直線上に存在している。



①...②

## 問2 アルコール

① 正しい。メタノールは第一級アルコールに分類される。なお、メタノールを酸化するとホルムアルデヒドを生じる。



② 正しい。アルコールは疎水性の炭化水素基と、親水性のヒドロキシ基からなる有機化合物で、エタノールは炭素の数が少な

## 鎖式炭化水素の分類

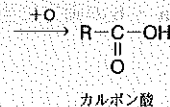
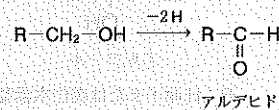
アルカン 単結合のみからなる鎖式飽和炭化水素であり、一般式  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$  で表される。

アルケン 炭素原子間に二重結合を1個もつ鎖式不飽和炭化水素であり、一般式  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$  で表される。

アルキン 炭素原子間に三重結合を1個もつ鎖式不飽和炭化水素であり、一般式  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$  で表される。

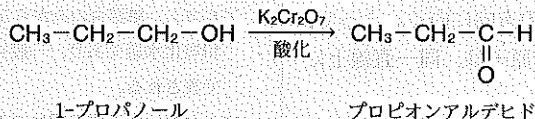
## アルコールの酸化

第一級アルコール(RはH原子または炭化水素基)

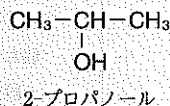


いため、水と任意の割合で溶けあう。なお、炭素数3のアルコールまでは、水と任意の割合で溶けあう。

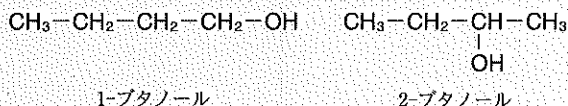
③ 誤り。1-プロパノールは第一級アルコールなので、硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液で穏やかに酸化すると、アルデヒド(プロピオンアルデヒド)が生じる。



④ 正しい。2-プロパノールを含めアルコールはヒドロキシ基をもつため、金属ナトリウムと反応して水素を発生する。



⑤ 正しい。1-ブタノールと2-ブタノールの分子式はともに  $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$  で表され、互いに構造異性体の関係にある。



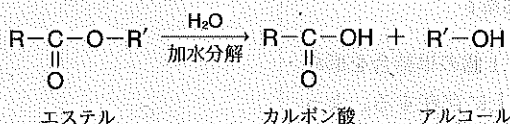
2

 ... ③

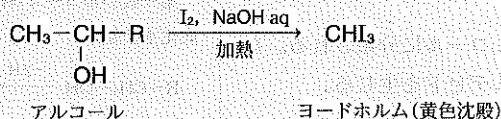
### 問3 有機化合物の構造決定

a 有機化合物に臭素水を加えると、付加反応によって、臭素水の赤褐色が消えたことから、この化合物の炭素間には不飽和結合が存在すると考えられる。これに当てはまる化合物は、④、⑥、⑧である。

b この化合物はエステルであり、加水分解するとカルボン酸とアルコールを生じる。



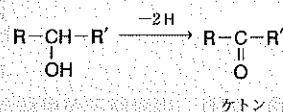
加水分解して得られたアルコールに、ヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて温めると黄色の沈殿であるヨードホルムを生じたことから、生成物のアルコールは次に示す構造をもつと考えられる。これに当てはまる化合物は、②、⑤である。



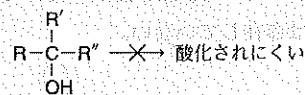
(R: H原子または炭化水素基)

以上より、a・bの両方に当てはまる化合物は⑤である。

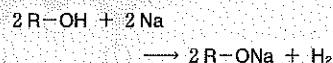
第二級アルコール(R, R'は炭化水素基)



第三級アルコール(R, R', R''は炭化水素基)



アルコールとナトリウムの反応



### C=C, C≡Cの検出

炭素間二重結合  $\text{C}=\text{C}$  または炭素間三重結合  $\text{C}\equiv\text{C}$  をもつ有機化合物は、付加反応により、臭素水  $\text{Br}_2$  の赤褐色を脱色する。

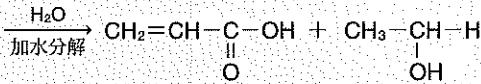
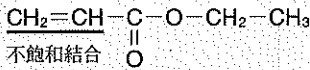
### ヨードホルム反応

次の構造をもつ有機化合物にヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて温めると、ヨードホルム  $\text{CHI}_3$  の黄色沈殿が生じる。



(RはH原子または炭化水素基)



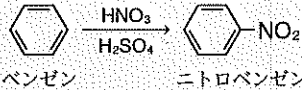


ヨードホルム反応陽性

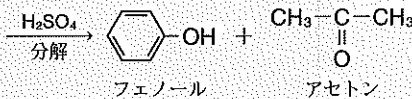
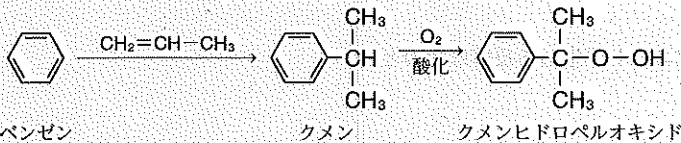
3...⑤

#### 問4 芳香族化合物

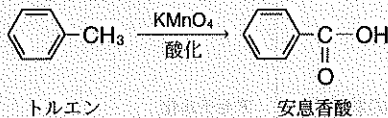
① 正しい。ベンゼンに濃硝酸と濃硫酸を加えて温めると、ベンゼンの水素原子の1つがニトロ基に置換されたニトロベンゼンが生じる。



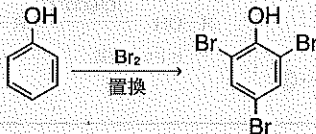
② 誤り。ベンゼンを触媒の存在下でプロペンと反応させると、クメンが生じる。なお、クメンを空気酸化すると、クメンヒドロペルオキシドが生じ、これに希硫酸を作用させると、フェノールとアセトンが得られる。一連の反応はクメン法とよばれ、フェノールの工業的製法である。



③ 正しい。トルエンを過マンガン酸カリウムと反応させると、側鎖のメチル基が酸化されて安息香酸が得られる。



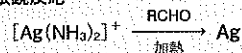
④ 正しい。フェノールに臭素水を加えると、フェノールのオルト位とパラ位の水素原子が臭素原子に置換された2,4,6-トリブロモフェノールの白色沈殿が生じる。



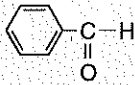
⑤ 正しい。ベンズアルデヒドはアルデヒド基をもつので、アンモニア性硝酸銀水溶液を加えて温めると、ジアンミン銀(I)イオンが還元されて、銀が析出する。この反応は銀鏡反応とよばれ

アルデヒド基の検出

銀鏡反応



る。

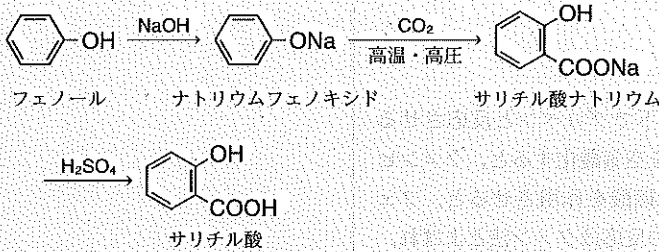


ベンズアルデヒド

4 ... ②

問5 サリチル酸の合成

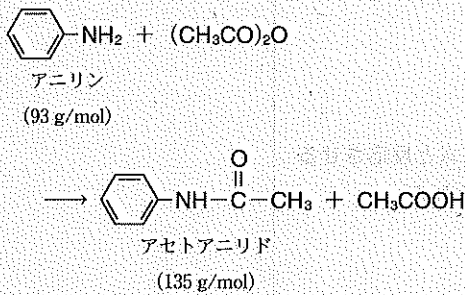
サリチル酸は、フェノールと、<sup>(a)</sup>水酸化ナトリウムとの塩であるナトリウムフェノキシドに、高温・高圧条件で、<sup>(b)</sup>二酸化炭素を反応させてサリチル酸ナトリウムとし、これに、<sup>(c)</sup>希硫酸を作用させて合成される。



5 ... ①

問6 アセチル化

アニリンと無水酢酸からアセトアニリドが生じる反応は次のとおりである。



アニリンがアセチル化されるとき、反応したアニリンの物質質量と生じたアセトアニリドの物質質量が等しいので、反応したアニリンの質量を  $x$  [g] とすると、

$$\begin{aligned}
 \frac{x \text{ [g]}}{93 \text{ g/mol}} &= \frac{6.75 \text{ g}}{135 \text{ g/mol}} \\
 x &= 4.65 \text{ g}
 \end{aligned}$$

6 ... ③

アセチル化

