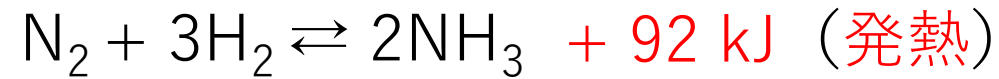


ハーバー・ボッシュ法



NH<sub>3</sub> の工業的製法



触媒

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

反応条件

1~3 × 10<sup>7</sup> Pa

500 °C

平衡の移動を考えると低温の方が  
NH<sub>3</sub>の生成割合は増えるが

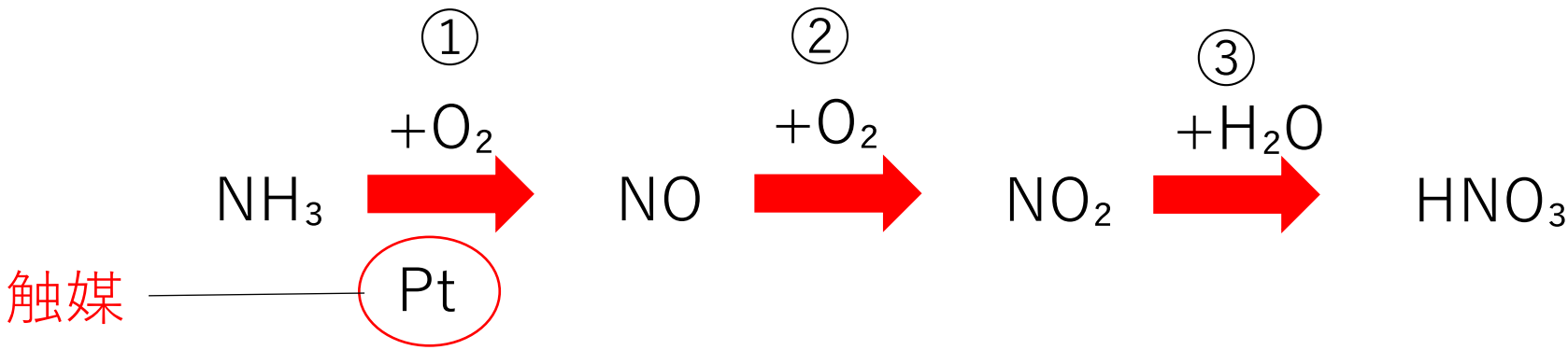


反応速度を考えている！

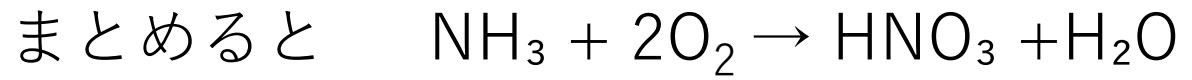
オストワルト法



HNO<sub>3</sub> の工業的製法



- ① 4NH<sub>3</sub>+5O<sub>2</sub> → 4NO +6H<sub>2</sub>O
- ② 2NO+O<sub>2</sub> → 2NO<sub>2</sub>
- ③ 3NO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O → 2HNO<sub>3</sub> +NO

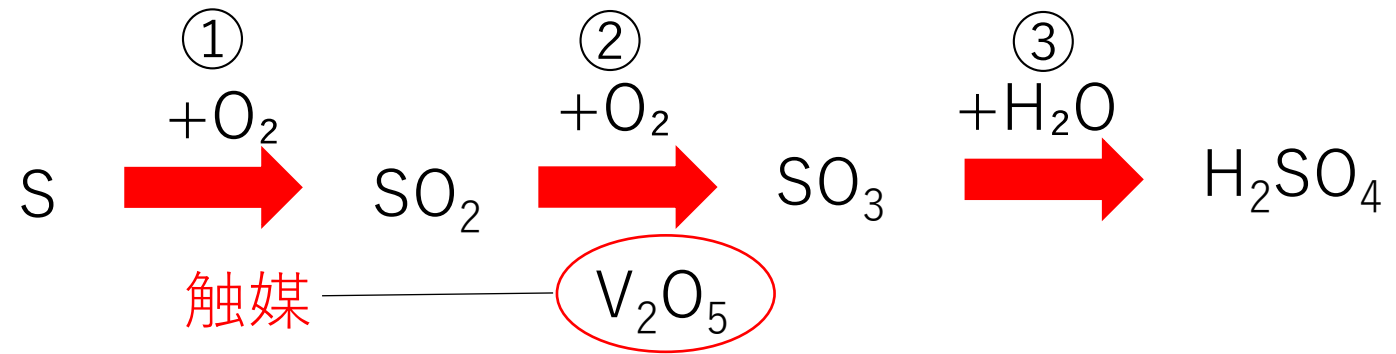


NH<sub>3</sub>とHNO<sub>3</sub>の  
モルが同じ！

接触法

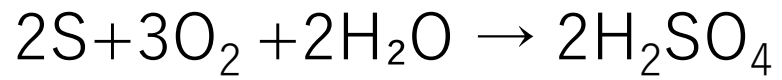


H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> の工業的製法



- ①  $S + O_2 \rightarrow SO_2$
- ②  $2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$
- ③  $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$

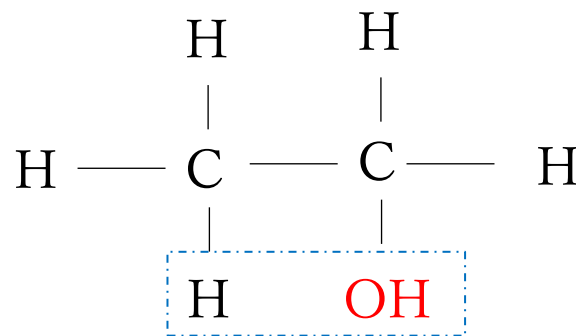
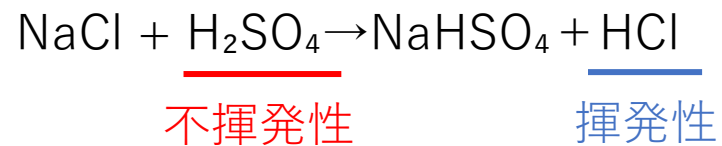
まとめると



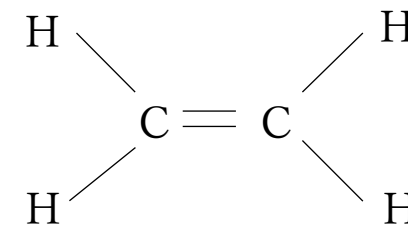
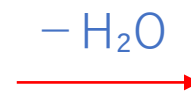
SとH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>の  
モルが同じ!

## 濃硫酸の性質

- ① 粘性
- ② 不揮発性
- ③ 吸湿性 (乾燥剤)
- ④ 脱水作用
- ⑤ 酸化作用



エタノール



エチレン

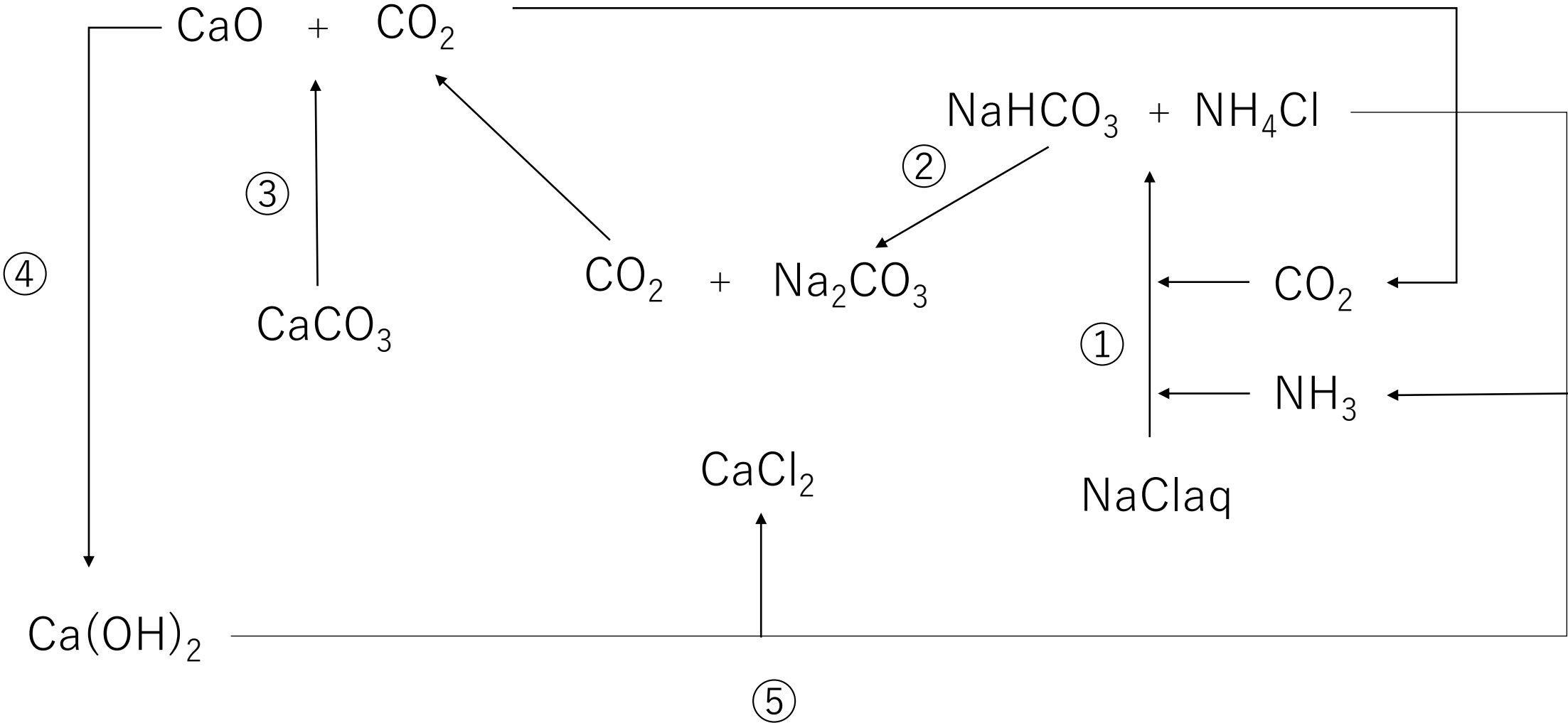
注意

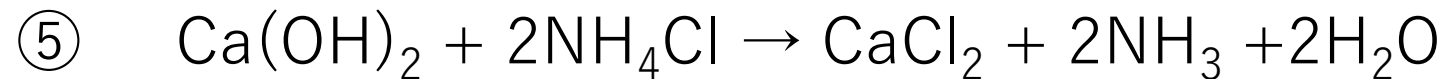
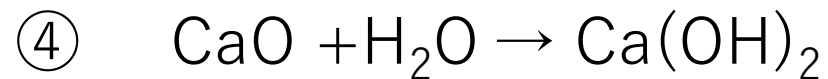
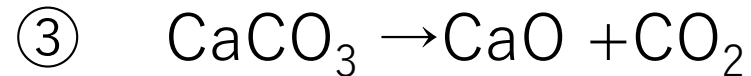
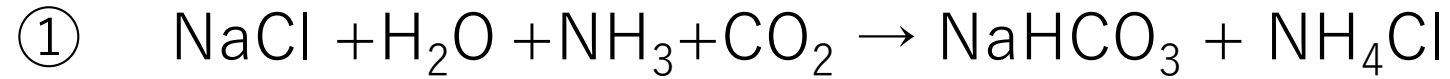
強酸性は 希硫酸の性質

アンモニアソーダ法



$\text{Na}_2\text{CO}_3$  の工業的製法





理論的にはNH<sub>3</sub>は  
100%再利用される！

# 化 学

(注意) 解答にあたって必要ならば, 次の数値を用いよ。

原子量:  $H = 1.0$ ,  $He = 4.0$ ,  $C = 12$ ,  $N = 14$ ,  $O = 16$ ,  $Ne = 20$ ,

$Na = 23$ ,  $Mg = 24$ ,  $Cl = 35.5$ ,  $K = 39$ ,  $Zn = 65$ ,  $Ag = 108$

アボガドロ定数:  $6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$ ;  $0^\circ\text{C}$  の絶対温度:  $T = 273 \text{ K}$

気体定数:  $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$

### 第3問 次の文章を読み、問い(問1～6)に答えよ。

硝酸は、工業的には次の方法でつくられる。

反応1：ハーバー・ボッシュ法で合成された化合物アを空気と混合し、白金を触媒として約800℃で反応させ、化合物イをつくる。

反応2：化合物イを空気中で酸化して化合物ウとする。

反応3：化合物ウを水に吸収させて硝酸とする。

問1 反応1で、化合物ア1.00 molを完全に反応させるのに必要な酸素の物質質量として最も適当な数値を、次の①～⑧のうちから選べ。

mol

- |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|
| ① 0.50 | ② 0.75 | ③ 1.00 | ④ 1.25 |
| ⑤ 1.50 | ⑥ 1.75 | ⑦ 2.00 | ⑧ 2.25 |

問2 化合物イ、ウの記述として最も適しているものを、それぞれ次の①～⑧のうちから選べ。

イ：       ウ：

- ① 塩化アンモニウムと水酸化カルシウムの混合物を加熱すると得られる。
- ② 常温で二量化しやすく、一部は無色の化合物に変化する。
- ③ 亜硝酸アンモニウム水溶液を加熱すると得られる。
- ④ シアン酸アンモニウムの加熱によって得られる。
- ⑤ 亜硫酸ナトリウムに希硫酸を加えると得られる。
- ⑥ 水に溶解しやすい無色の気体である。
- ⑦ 血管を拡張させる作用を示す。
- ⑧ 水に溶けて塩基性を示す。



問 3 反応 3 で、化合物ウ 1.00 mol を完全に反応させた。生成した硝酸の物質質量として最も適当な数値を、次の①～⑧のうちから選べ。

15 mol

- ① 0.333      ② 0.500      ③ 0.667      ④ 1.00  
 ⑤ 1.25      ⑥ 1.50      ⑦ 1.75      ⑧ 2.00

問 4 反応 1～3 は、1つの化学反応式にまとめることができる。反応 1～3 が完全に進み、5.1 kg の化合物アが全て硝酸になったとすると、70 % 硝酸は何 kg 得られるか。最も適当な数値を、次の①～⑥のうちから選べ。

16 kg

- ① 9.6      ② 14      ③ 19      ④ 27      ⑤ 38      ⑥ 54

問 5 次の値を利用して窒素( $N_2$ )の結合エネルギーを計算すると、何 kJ/mol になるか。最も適当な数値を、下の①～⑥のうちから選べ。

生成熱 [kJ/mol] : ア(気) 46,    イ(気) -90,    ウ(気) -33

結合エネルギー [kJ/mol] : H—H 436,    O=O 498,    N—H 391

17 kJ/mol

- ① 589      ② 810      ③ 858      ④ 946      ⑤ 978      ⑥ 1130

問 6 銀に希硝酸を加えると、気体を発生しながら銀が完全に反応した。生成した気体をすべて水上置換で捕集したところ、27℃、996 hPa の大気圧のもとで 2.0 L の気体が得られた。ただし、27℃での水蒸気圧は 36 hPa とし、全ての気体が捕集され、水への溶解や空気との反応はなかったものとする。反応した銀の質量(g)として最も適当な数値を、次の①～③のうちから選べ。

18 g

- ① 0.083      ② 0.25      ③ 4.2      ④ 8.3  
 ⑤ 13      ⑥ 17      ⑦ 25      ⑧ 28

以下の問題文で、体積の単位記号Lは、リットルを表す。また必要があれば次の値を用いよ。

原子量：H = 1.0      He = 4.0      C = 12      N = 14      O = 16      Na = 23      Cl = 35.5

Ar = 40      Ca = 40      Mn = 55      Zn = 65

絶対温度  $T(\text{K}) = 273 + t[^\circ\text{C}]$       気体定数  $= 8.3 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$       ファラデー定数  $= 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$

3 次の文章を読み、下の問い(問1～5)に答えよ。

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。この沈殿を分離して加熱すると化合物Aが得られる。このようなAの工業的製法をアンモニアソーダ法(ソルバー法)という。

この製法における各化合物の関連を図1に示す。ただし、記号A～Fはすべて化合物の化学式を表すものとし、同じ記号は同じ化学式を示す。

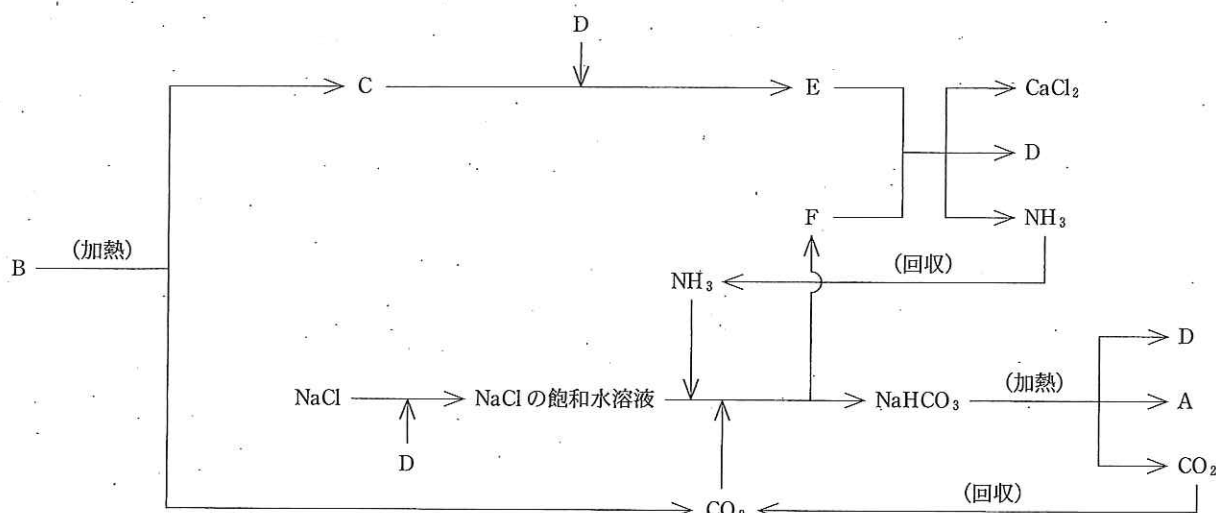


図1

問1 文章中および図1のA～Fに当てはまる化合物として最も適切なものを、下の①～⑨のうちからそれぞれ1つずつ選べ。

A  B  C  D  E  F

- ① H<sub>2</sub>O      ② HCl      ③ NaOH      ④ Ca(OH)<sub>2</sub>      ⑤ CaO  
 ⑥ CaCO<sub>3</sub>      ⑦ Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>      ⑧ CO      ⑨ NH<sub>4</sub>Cl

問2 下線部アについて述べた次の文章を読み、下の(1)～(5)に答えよ。

塩化ナトリウムの飽和水溶液中では塩化ナトリウムはすべて  として存在する。また、水に溶けたアンモニアと二酸化炭素との中和反応がおこる。この結果、水溶液中には陽イオンとしてNa<sup>+</sup>、、陰イオンとしてCl<sup>-</sup>、が多量に存在することになる。これらのイオンから生成する可能性のある塩は 種類あるが、その中で溶解度の最も 炭酸水素ナトリウムが沈殿する。

- (1)  に当てはまる語として最も適切なものを、次の①～③のうちから1つ選べ。  
 ① 分子      ② イオン      ③ 原子
- (2)  に当てはまる化学式として最も適切なものを、次の①～③のうちから1つ選べ。  
 ① H<sup>+</sup>      ② NH<sub>4</sub><sup>+</sup>      ③ Ca<sup>2+</sup>
- (3)  に当てはまる化学式として最も適切なものを、次の①～③のうちから1つ選べ。  
 ① OH<sup>-</sup>      ② HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>      ③ CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>
- (4)  に当てはまる数字として最も適切なものを、次の①～④のうちから1つ選べ。  
 ① 1      ② 2      ③ 3      ④ 4
- (5)  に当てはまる語として最も適切なものを、次の①、②のうちから1つ選べ。  
 ① 大きい      ② 小さい

問 3 アンモニアソーダ法では、二酸化炭素とアンモニアとを回収して再利用している。それぞれの回収率は理論上何%となるか。最も適切なものを、次の①～⑩のうちからそれぞれ1つずつ選べ。同じものを繰り返し選んでもよい。

二酸化炭素  %    アンモニア  %

- ① 10                      ② 20                      ③ 30                      ④ 40                      ⑤ 50  
 ⑥ 60                      ⑦ 70                      ⑧ 80                      ⑨ 90                      ⑩ 100

問 4 塩化ナトリウム 100 kg から得られる化合物 A は何 kg となるか。最も近いものを、次の①～⑩のうちから1つ選べ。

kg

- ① 86                      ② 91                      ③ 96                      ④ 101                      ⑤ 106  
 ⑥ 111                      ⑦ 116                      ⑧ 121                      ⑨ 126                      ⑩ 131

問 5 化合物 A について正しいものを、次の①～⑦のうちから2つ選び、一緒にマークせよ。

- ① 水によく溶け、水溶液は塩基性を示す。  
 ② 加熱によって容易に分解する。  
 ③ 炎色反応を示さない。  
 ④ 再結晶によって得られた無色透明な結晶は潮解性がある。  
 ⑤ ガラスやセッケンの製造に用いられる。  
 ⑥ 医療用のギブスや塑像に用いられる。  
 ⑦ 胃腸薬やベーキングパウダー(ふくらし粉)として用いられる。

# 化 学

すべての設問にわたって、解答に際して必要ならば次の各値を使いなさい。

原子量 H : 1.0    C : 12    N : 14    O : 16

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

気体定数  $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol}) = 8.31 \text{ J}/(\text{K}\cdot\text{mol})$

$\log_{10}2 = 0.30$ ,  $\log_{10}3 = 0.48$ ,  $\log_{10}5 = 0.70$ ,  $\log_{10}7 = 0.85$

$\sqrt{2} = 1.41$ ,  $\sqrt{3} = 1.73$ ,  $\sqrt{5} = 2.24$

4 次の文章を読み、下の問1～5に答えなさい。〔解答番号 1 ～ 5 〕

硫酸、硝酸、アンモニアなどは工業的に重要な化合物であり、触媒を用いて効率よく合成されている。

硫酸は ア を触媒に用いて、二酸化硫黄を酸化して三酸化硫黄とし、これを濃硫酸に溶かしてつくられる。この工業的製法を接触法という。

アンモニアは工業的には イ などの触媒を用いて、窒素と水素から直接合成される。この製造法はハーバー・ボッシュ法と呼ばれている。

次の図は硝酸の工業的製法であるオストワルト法の製造工程を表している。まず、ウ を触媒にしてアンモニアを酸化し、化合物 A とした後（反応1）、これをさらに酸化して化合物 B とする（反応2）。次にこれを温水に吸収させて硝酸とする（反応3）。このとき、同時に化合物 C が生じ、製造工程のあ～おのいずれかに再投入される。

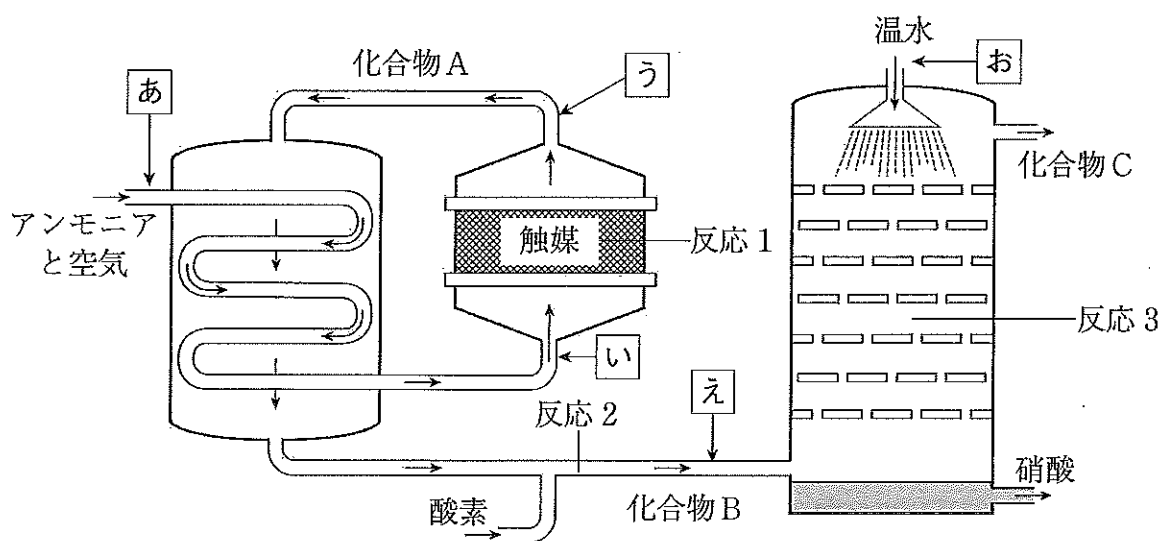


図 オストワルト法

問1 文中の **ア** ~ **ウ** に入る触媒の組合せとして最も適切なものを、次の①~⑥のうちから一つ選びなさい。 **1**

	<b>ア</b>	<b>イ</b>	<b>ウ</b>
①	$V_2O_5$	Pt	$Fe_3O_4$
②	$V_2O_5$	$Fe_3O_4$	Pt
③	Pt	$V_2O_5$	$Fe_3O_4$
④	Pt	$Fe_3O_4$	$V_2O_5$
⑤	$Fe_3O_4$	Pt	$V_2O_5$
⑥	$Fe_3O_4$	$V_2O_5$	Pt

問2 下線部について、化合物Cが再投入される製造工程として最も適切なものを、次の①~⑤のうちから一つ選びなさい。 **2**

- ① **あ**      ② **い**      ③ **う**      ④ **え**      ⑤ **お**

問3 図において、反応1における反応温度、反応2における反応温度、反応2の正反応が発熱反応か吸熱反応か、および化合物Bの色を次の①~⑧のうちから一つ選びなさい。 **3**

	反応1の 反応温度	反応2の 反応温度	反応2の 正反応	化合物Bの色
①	140℃	800℃	発熱反応	赤褐色
②	140℃	800℃	吸熱反応	無色
③	140℃	800℃	吸熱反応	赤褐色
④	140℃	800℃	発熱反応	無色
⑤	800℃	140℃	発熱反応	赤褐色
⑥	800℃	140℃	吸熱反応	無色
⑦	800℃	140℃	吸熱反応	赤褐色
⑧	800℃	140℃	発熱反応	無色

問4 次の文(a)～(d)の正誤の組合せとして最も適切なものを、下の①～⑧のうちから一つ選びなさい。 4

- (a) 化合物 A は極性分子であるので、水に溶けやすい。
- (b) 鉄は濃硝酸と反応させても、ほとんど気体の発生はみられない。
- (c) 反応 3 では、化合物 B の酸化と還元のどちらも起こっている。
- (d) 硝酸ナトリウムに濃硫酸を加えて加熱すると、濃硫酸の酸化作用によって硝酸が生じる。

	(a)	(b)	(c)	(d)
①	正	正	正	誤
②	正	正	誤	誤
③	正	誤	正	正
④	正	誤	正	誤
⑤	誤	正	正	誤
⑥	誤	正	誤	正
⑦	誤	誤	正	正
⑧	誤	誤	誤	正

問5 5.10 kg のアンモニアと 16.0 kg の酸素を原料として、オストワルト法によって濃硝酸（質量パーセント濃度 60.0 %、密度 1.40 g/cm<sup>3</sup>）を製造した。生じた濃硝酸の体積の数値として、最も適切なものを次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。

5 L

- ① 9.40    ② 12.5    ③ 18.8    ④ 22.5    ⑤ 28.2    ⑥ 37.5



# 化 学

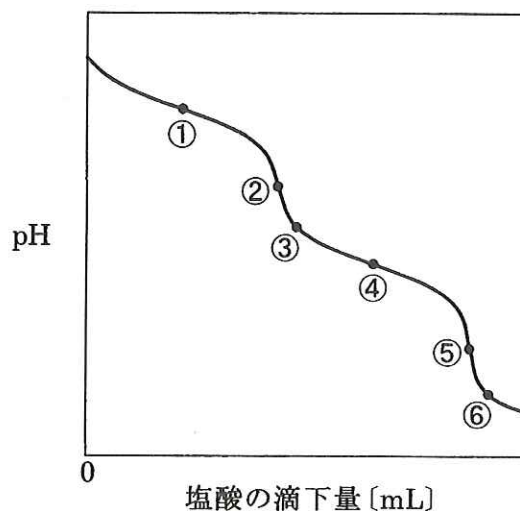
必要であれば、原子量として  $H=1.00$ ,  $C=12.0$ ,  $N=14.0$ ,  $O=16.0$ ,  $Na=23.0$ ,  $S=32.0$ ,  $Cl=35.5$ ,  $Cu=63.5$ ,  $I=127$  を用いなさい。また、気体定数  $R$  を  $8.31 \times 10^3 \text{ L} \cdot \text{Pa}/(\text{K} \cdot \text{mol})$  とし、ファラデー定数  $F$  を  $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$  とする。

[I] A~C の文章を読んで、問いに答えなさい。

A. 炭酸ナトリウムの工業的製法であるソルベー法では、次のような反応が利用される。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、 を吹き込むと、 と  が生じ、溶解度の低い  が沈殿する。分離した  を  $270^\circ\text{C}$  以上に加熱すると無水炭酸ナトリウムが得られる。

B. 炭酸ナトリウムを用いて、塩酸の濃度を決定するために滴定を行った。

正確にはかり取った無水炭酸ナトリウムの結晶を蒸留水に溶かして  に移し、一定体積に希釈して  $5.00 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$  の標準溶液を調製した。この標準溶液の  $20.0 \text{ mL}$  を、 を用いてコニカルビーカーに取り、メチルオレンジ溶液を数滴加えた。この溶液に  から塩酸を滴下した。溶液が変色したときの滴下量は  $20.6 \text{ mL}$  であった。また、滴定溶液の pH は下図のように変化した。



C. 炭酸ナトリウムの濃厚水溶液を室温で放置したら溶液が濃縮されて、炭酸ナトリウム水和物 **a** の無色透明な結晶が析出した。この結晶 8.58 g に過剰の希硫酸を加えて発生した気体のすべてを、塩化カルシウム管\*、ソーダ石灰管\*の順に通じたところ、ソーダ石灰管の質量が 1.32 g 増加した。

一方、炭酸ナトリウム水和物 **a** の結晶を室温で空气中に放置したら、水和水の一部を失って炭酸ナトリウム水和物 **b** の白色粉末にすべて変化した。この白色粉末の 3.10 g を 300°C に加熱して発生した気体のすべてを、塩化カルシウム管、ソーダ石灰管の順に通じたところ、塩化カルシウム管の質量が 0.45 g 増加し、ソーダ石灰管の質量に変化は見られなかった。

\* 塩化カルシウムまたはソーダ石灰の粒子を充填した管

問 1 A の  ~  に適した化学式を書きなさい。

問 2 B の  ~  に適したガラス器具の名称を書きなさい。

問 3 B の滴定に用いた塩酸のモル濃度を有効数字 3 桁で求めなさい。

問 4 B において、溶液が変色したのは滴定曲線上のどの位置か。最も近い点を①~⑥の番号で答えなさい。

問 5 B において、滴定溶液の pH が 8.00 になるのは塩酸を何 mL 滴下したときか。小数第 2 位を四捨五入して求めなさい。ただし、炭酸の電離定数を  $K_1=1.00 \times 10^{-6}$  mol/L および  $K_2=1.00 \times 10^{-10}$  mol/L とする。

問 6 C の下線部の現象を一般に何とよぶか。

問 7 C の下線部において、炭酸ナトリウム水和物 **a** から失われた水和水の物質量は炭酸ナトリウム水和物 **b** に含まれる水和水の物質量の何倍か。