

無機化学

目次

第 I 部

非金属元素

1 水素

無色無臭の気体^{*1} 最も軽く、水に溶けにくい

1.1 同位体

^1H 99% 以上 ^2H (D) 0.015% ^3H (T) 微量

1.2 製法

- ナフサの電気分解 (工業的製法)
- 赤熱したコークスに水蒸気を吹き付ける (工業的製法)
 $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2 + \text{CO}$
- 水(水酸化ナトリウム水溶液)の電気分解
 $2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$
- イオン化傾向が H_2 より大きい金属と希薄強酸
 (例) $\text{Fe} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{FeCl}_2 + \text{H}_2 \uparrow$
 (例) $\text{Zn} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2 \uparrow$

1.3 反応

- 水素と酸素 (爆鳴気の燃焼)
 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
- 加熱した酸化銅 (II) と水素
 $\text{CuO} + \text{H}_2 \longrightarrow \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$
- 水酸化ナトリウムと水
 $\text{NaH} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{NaOH} + \text{H}_2$

2 貴ガス

He , Ne , Ar , Kr , Xe , Rn

2.1 性質

- 無色・無臭
- 第 18 族元素であり、電子配置がオクテットを満たすため反応性が低い。
- イオン化エネルギーが極めて大きい。
- 電子親和力は極めて小さい (ほぼ 0)。
- 電気陰性度は定義されない。

2.2 生成

^{40}K の電子捕獲



2.3 ヘリウム He

浮揚ガス

2.4 ネオン Ne

ネオンサイン

2.5 アルゴン Ar

N_2 , O_2 に次いで 3 番目に空気中での存在量が多い (約 1%)。

^{*1} 融点 14K 沸点 20K

3 ハロゲン

3.1 単体

3.1.1 性質

| 化学式 | F ₂ | Cl ₂ | Br ₂ | I ₂ |
|---------------------|----------------------|---------------------------------|------------------|--------------------------|
| 分子量 | 小 | \longleftrightarrow | | 大 |
| 分子間力 | 弱 | \longleftrightarrow | | 強 |
| 反応性 | 強 | \longleftrightarrow | | 弱 |
| 沸点・融点 | 低 | \longleftrightarrow | | 高 |
| 常温での状態 | 気体 | 気体 | 液体 | 固体 |
| 色 | 淡黄色 | 黄緑色 | 赤褐色 | 黒紫色 |
| 特徴 | 特異臭 | 刺激臭 | 揮発性 | 昇華性 |
| H ₂ との反応 | 冷暗所でも爆発的に反応 | 常温でも光で爆発的に反応 | 加熱して触媒により反応 | 高温で平衡状態 加熱して触媒により一部反応 |
| 水との反応 | 水を酸化して酸素を発生 激しく反応 | 一部とけて反応 | 一部とけて反応 | 反応しない KIaq には可溶 |
| 用途 | 保存が困難 Kr や Xe と反応 | ClO ⁻ による 殺菌・漂白作用 | C=C や C≡C の検出 | ヨウ素デンプン反応で 青紫色 |

3.1.2 製法

- フッ化水素ナトリウム KHF₂ のフッ化水素 HF 溶液の電気分解 工業的製法
 $\text{KHF}_2 \longrightarrow \text{KF} + \text{HF}$
- 酸化ナトリウムの電気分解 工業的製法
 $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Cl}_2 + \text{H}_2 + 2\text{NaOH}$
- 酸化マンガ (IV) に濃硫酸を加えて加熱
 $\text{MnO}_2 + 4\text{HCl} \xrightarrow{\Delta} \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$
- 高度さらし粉と塩酸
 $\text{Ca}(\text{ClO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{HCl} \longrightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{Cl}_2 \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$
- さらし粉と塩酸
 $\text{CaCl}(\text{ClO}) \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{CaCl}_2 + \text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$
- 臭化マグネシウムと塩素
 $\text{MgBr}_2 + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{MgCl}_2 + \text{Br}_2$
- ヨウ化カリウムと塩素
 $2\text{KI} + \text{Cl}_2 \longrightarrow 2\text{KCl} + \text{I}_2$

3.1.3 反応

- フッ素と水素
 $\text{H}_2 + \text{F}_2 \xrightarrow{\text{常温で爆発的に反応}} 2\text{HF}$
- 塩素と水素
 $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{光を当てると爆発的に反応}} 2\text{HCl}$
- 臭素と水素
 $\text{H}_2 + \text{Br}_2 \xrightarrow{\text{高温で反応}} 2\text{HBr}$
- ヨウ素と水素
 $\text{H}_2 + \text{I}_2 \xrightleftharpoons{\text{高温で平衡}} 2\text{HI}$
- フッ素と水
 $2\text{F}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4\text{HF} + \text{O}_2$
- 塩素と水
 $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCl} + \text{HClO}$
- 臭素と水
 $\text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HBr} + \text{HBrO}$
- ヨウ素の固体がヨウ化物イオン存在下で三ヨウ化物イオンを形成して溶解する反応
 $\text{I}_2 + \text{I}^- \longrightarrow \text{I}_3^-$

3.1.4 塩素発生実験の装置



↓ 水 に通す (HCl の除去)

Cl₂, H₂O

↓ 濃硫酸 に通す (H₂O の除去)

Cl₂

3.1.5 塩素のオキソ酸

オキソ酸 … 酸素を含む酸性物質

| | | |
|-------|-------------------------------------|---|
| + VII | <u>HClO₄</u> <u>過塩素酸</u> | $\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}-\text{O}-\text{Cl}-\text{O} \\ \\ \text{O} \end{array}$ |
| + V | <u>HClO₃</u> <u>塩素酸</u> | $\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}-\text{O}-\text{Cl}-\text{O} \end{array}$ |
| + III | <u>HClO₂</u> <u>亜塩素酸</u> | $\text{H}-\text{O}-\text{Cl}-\text{O}$ |
| + I | <u>HClO</u> <u>次亜塩素酸</u> | $\text{H}-\text{O}-\text{Cl}$ |

3.2 ハロゲン化水素

3.2.1 性質

| 化学式 | HF | HCl | HBr | HI |
|-------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 色・臭い | <u>無色刺激臭</u> | | | |
| 沸点 | 20°C | -85°C | -67°C | -35°C |
| 水との反応 | <u>よく溶ける</u> | | | |
| 水溶液 (強弱) | <u>フッ化水素酸</u> <u>弱酸</u> | <u>塩酸</u> <u>強酸</u> | <u>臭化水素酸</u> <u>強酸</u> | <u>ヨウ化水素酸</u> <u>強酸</u> |
| 用途 | <u>ガラス</u> と反応 ⇒ ポリエチレン瓶 | <u>アンモニア</u> の検出 各種工業 | 半導体加工 | インジウムスズ 酸化物の加工 |

3.2.2 製法

- ホタル石に濃硫酸を加えて加熱 (弱酸遊離)

$$\text{CaF}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\Delta} \text{CaSO}_4 + 2\text{HF} \uparrow$$
- 水素と塩素 (工業的製法)

$$\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \longrightarrow 2\text{HCl} \uparrow$$
- 塩化ナトリウムに濃硫酸に加えて加熱 (弱酸酸・揮発性酸の追い出し)

$$\text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\Delta} \text{NaHSO}_4 + \text{HCl} \uparrow$$

3.2.3 反応

- 気体のフッ化水素がガラスを侵食する反応

$$\text{SiO}_2 + 4\text{HF}(\text{g}) \longrightarrow \text{SiF}_4 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$$
- フッ化水素酸 (水溶液) がガラスを侵食する反応

$$\text{SiO}_2 + 6\text{HF}(\text{aq}) \longrightarrow \text{H}_2\text{SiF}_6 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$$
- 塩化水素によるアンモニアの検出

$$\text{AgO}_2 + 2\text{HF} \longrightarrow 2\text{AgF} + \text{H}_2\text{O}$$

3.3 ハロゲン化銀

3.3.1 性質

| 化学式 | AgF | AgCl | AgBr | AgI |
|-------|-------|-----------|------|-----|
| 固体の色 | 黄褐色 | 白色 | 淡黄色 | 黄色 |
| 水との反応 | よく溶ける | ほとんど溶けない | | |
| 光との反応 | 感光 | 感光性 (→Ag) | | |

3.3.2 製法

- 酸化銀 (I) にフッ化水素酸を加えて蒸発圧縮

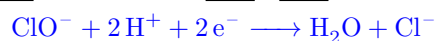
$$\text{Ag}_2\text{O} + 2\text{HF} \longrightarrow 2\text{AgF} + \text{H}_2\text{O}$$
- ハロゲン化水素イオンを含む水溶液と硝酸銀水溶液

$$\text{Ag}^+ + \text{X}^- \longrightarrow \text{AgX} \downarrow$$

3.4 次亜塩素酸塩

3.4.1 性質

酸化剤として反応 (殺菌・漂白作用)



3.4.2 製法

- 水酸化ナトリウム水溶液と塩素

$$2\text{NaOH} + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{NaCl} + \text{NaClO} + \text{H}_2\text{O}$$
- 水酸化カルシウムと塩素

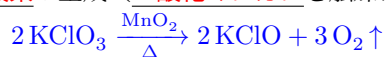
$$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{CaCl}(\text{ClO}) \cdot \text{H}_2\text{O}$$

3.5 水素酸カリウム

化学式: KClO_3

3.5.1 性質

酸素の生成 (二酸化マンガンを触媒に加熱)



4 酸素

4.1 酸素原子

同位体：酸素 (O_2), オゾン (O_3)

地球の地殻に最も多く存在

地球の地殻における元素の存在率

| | | | | | | | | | | |
|-----------|---|------------|---|---------------|---|-----------|---|--------------|---|--------------|
| <u>O</u> | > | <u>Si</u> | > | <u>Al</u> | > | <u>Fe</u> | > | <u>Ca</u> | > | <u>Na</u> |
| <u>酸素</u> | | <u>ケイ素</u> | | <u>アルミニウム</u> | | <u>鉄</u> | | <u>カルシウム</u> | | <u>ナトリウム</u> |
| 46.6% | | 27.7% | | 8.13% | | 5.00% | | 3.63% | | 2.83% |
| おっ | | し | | やる | | て | | か | | な |

4.2 酸素

化学式： O_2

4.2.1 性質

- 無色無臭の気体
- 沸点 -183°C

4.2.2 製法

- 液体空気の分留 工業的製法
- 水 (水酸化ナトリウム水溶液) の電気分解
 $2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{H}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow$
- 過酸化水素水 (オキシドール) の分解
 $2\text{H}_2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{MnO}_2} \text{O}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$
- 塩素酸カリウムの熱分解
 $2\text{KClO}_3 \xrightarrow[\Delta]{\text{MnO}_2} 2\text{KClO} + 3\text{O}_2\uparrow$

4.2.3 反応

酸化剤としての反応



4.3 オゾン

化学式： O_3

4.3.1 性質

- ニンニク臭 (特異臭) を持つ淡青色の気体 (常温)
- 水に少し溶ける
- 殺菌・脱臭作用

オゾンにおける酸素原子の運動



⇒極性

4.3.2 製法

酸素中で無声放電／強い紫外線を当てる



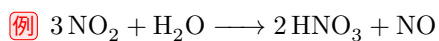
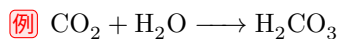
4.3.3 反応

- 酸化剤としての反応
 $\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- 湿らせたヨウ化カリウムでんぷん紙を青色に変色
 $\text{O}_3 + 2\text{KI} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{I}_2 + \text{O}_2 + 2\text{KOH}$
- 酸化カルシウムと水
 $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca(OH)}_2$
- 二酸化窒素と水
 $3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$
- 酸化銅 (II) と塩化水素
 $\text{CuO} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{CuCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- 酸化アルミニウムと硫酸
 $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
- 酸化アルミニウムと水酸化ナトリウム水溶液
 $\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH} \longrightarrow 3\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{Na[Al(OH)}^+]$

4.4 酸化物の分類

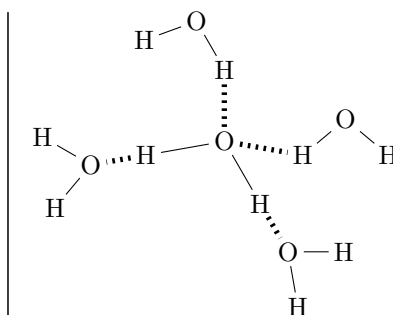
| | 塩基性酸化物 | 両性酸化物 | 酸性酸化物 |
|-------|---------------------|---------------------|----------------------------|
| 元素 | 陽性の <u>大きい金属</u> 元素 | 陽性の <u>小さい金属</u> 元素 | <u>非金属元素</u> |
| 水との反応 | <u>塩基性</u> | <u>ほとんど溶けない</u> | <u>酸性</u> (⇒ <u>オキソ酸</u>) |
| 中和 | <u>酸と反応</u> | <u>酸・塩基と反応</u> | <u>塩基と反応</u> |

両性酸化物… アルミニウム (Al) , 亜鉛 (Zn) , スズ (Sn) , 鉛 (Pb)*2



4.5 水の特異性

- 極性分子
- 周りの4つの分子と水素結合
- 異常に高い沸点
- 隙間の多い結晶構造 (密度: 固体 < 液体)
- 特異な融解曲線

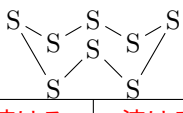
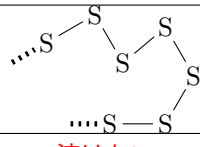


*2 覚え方: ああすんなり

5 硫黄

5.1 硫黄

5.1.1 性質

| | 斜方硫黄 | 単斜硫黄 | ゴム状硫黄 |
|----------------------|---|-------|---|
| 化学式 | S_8 | S_8 | S_x |
| 色 | 黄色 | 黄色 | 黄色 |
| 構造 | 塊状結晶 | 針状結晶 | 不定形固体 |
| 融点 | 113°C | 119°C | 不定 |
| 構造 |  | |  |
| CS ₂ との反応 | 溶ける | 溶ける | 溶けない |

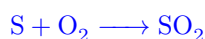
CS₂… 無色・芳香性・揮発性 ⇒ 無極性触媒

5.1.2 反応

- 高温で多くの金属 (Au、Pt を除く) との反応



- 空気中で青色の炎を上げて燃焼

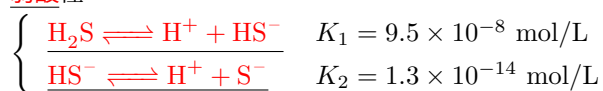


5.2 硫化水素

化学式: H_2S

5.2.1 性質

- 無色・腐卵臭
- 弱酸性

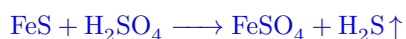


5.2.2 製法

- 酸化鉄 (II) と希塩酸



- 酸化鉄 (II) と希硫酸



5.2.3 反応

5.3 二酸化硫黄 (亜硫酸ガス)

化学式: SO_2 電子式:



5.3.1 性質

- 無色、刺激臭の気体

- 水に溶けやすい

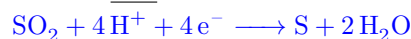
- 弱酸性



- 還元剤 (漂白作用)



- 酸化剤 (H_2S などの強い還元剤に対して)



5.3.2 製法

- 硫黄や硫化物の燃焼 (工業的製法)



- 亜硫酸ナトリウムと希硫酸

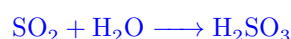


- 銅と熱濃硫酸



5.3.3 反応

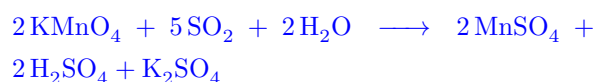
- 二酸化硫黄の水への溶解



- 二酸化硫黄と硫化水素



- 硫酸酸性で過マンガン酸カリウムと二酸化硫黄



5.4 硫酸

5.4.1 性質

- 無色無臭の液体

- 水に非常によく溶ける

- 溶解熱が非常に大きい

- 水に濃硫酸を加えて希釈

- 不揮発性で密度が大きく、粘度が大きい (濃硫酸)

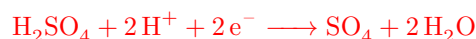
- 吸湿性・脱水作用 (濃硫酸)

- 強酸性 (希硫酸)



- 弱酸性 (濃硫酸) (水が少なく、 H_3O^+ の濃度が小さい)

- 酸化剤として働く (熱濃硫酸)



- アルカリ性土類金属 (Ca , Be)、 Pb と難溶性の塩を生
成 (希硫酸)

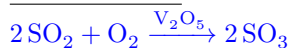
5.4.2 製法

接触法 (工業的製法)

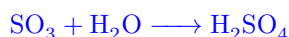
1. 黄鉄鉱 FeS_2 の燃焼



2. 酸化バナジウム触媒で酸化



3. 濃硫酸に吸収させて発煙硫酸とした後、希硫酸を加えて希釈

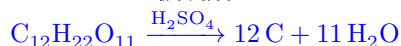


5.4.3 反応

- 硝酸カリウムに濃硫酸を加えて加熱



- スクロースと濃硫酸



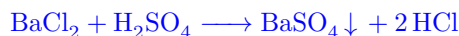
- 希硫酸と水酸化ナトリウム



- 銀と熱濃硫酸

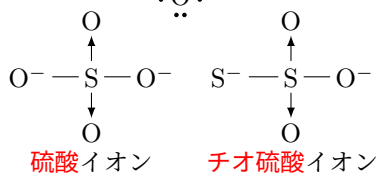
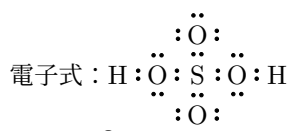


- 塩化バリウム水溶液と希硫酸



5.5 チオ硫酸ナトリウム (ハイポ)

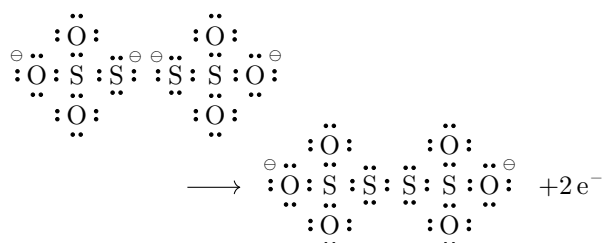
化学式: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$



5.5.1 性質

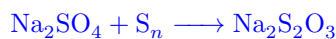
- 無色透明の結晶 (5 水和物) で、水に溶けやすい。
- 還元剤として反応

(例) 水道水の脱塩素剤 (カルキ抜き)



5.5.2 製法

亜硫酸ナトリウム水溶液に硫黄を加えて加熱



5.5.3 反応

ヨウ素とチオ硫酸ナトリウム



5.6 重金属の硫化物

| 酸性でも沈澱（全液性で沈澱） | | | | | | 中性・塩基性で沈澱（酸性では溶解） | | | |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------|-----|-----|-----|
| Ag ₂ S | HgS | CuS | PbS | SnS | CdS | NiS | FeS | ZnS | MnS |
| 黒色 | 黒色 | 黒色 | 黒色 | 褐色 | 黒色 | 黒色 | 黒色 | 白色 | 淡赤色 |

低 高
イオン化傾向
極小 塩の溶解度積 (K_{sp}) 小

6 窒素

6.1 窒素

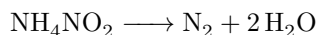
化学式：N₂

6.1.1 性質

- 無色無臭の気体
- 空気の 78% を占める
- 水に溶けにくい（無極性分子）
- 常温で不活性（食品などの酸化防止）
- 高エネルギー状態（高温・放電）では反応

6.1.2 製法

- 液体窒素の分留（工業的製法）
- 亜硝酸アンモニウム（熱分解）



6.1.3 反応

- 窒素と酸素

$$\text{N}_2 + 2\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{NO}_2 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{N}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{NO} \\ 2\text{NO} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{NO}_2 \end{array} \right.$$
- 窒素とマグネシウム

$$3\text{Mg} + \text{N}_2 \longrightarrow \text{Mg}_3\text{N}_2$$

6.2 アンモニア

化学式：NH₃

6.2.1 性質

- 無色刺激臭の気体
- 水素結合
- 水に非常によく溶ける（上方置換）
- 塩基性

$$\left(\frac{\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-}{K_1 = 1.7 \times 10^{-5} \text{ mol/L}} \right)$$
- 塩素の検出
- 高温・高圧で二酸化炭素と反応して、尿素を生成

6.2.2 製法

- ハーバーボッシュ法（工業的製法）
低温高圧で、四酸化三鉄（Fe₃O₄）触媒
$$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$$
- 塩化アンモニウムと水酸化カルシウムを混ぜて加熱
$$2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \longrightarrow 2\text{NH}_3 \uparrow + \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$$

6.2.3 反応

- 硫酸とアンモニア
$$2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$$
- 塩素の検出
$$\text{NH}_3 + \text{HCl} \longrightarrow \text{NH}_4\text{Cl} \downarrow$$
- アンモニアと二酸化炭素
$$2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 \longrightarrow (\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O}$$

6.3 一酸化二窒素（笑気ガス）

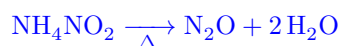
化学式：N₂O

6.4 性質

- 無色、少し甘味のある気体
- 水に少し溶ける
- 常温では反応性が低い
- 麻酔効果

6.5 製法

硝酸アンモニウム（熱分解）



6.6 一酸化窒素

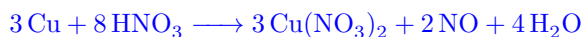
化学式：NO

6.6.1 性質

- 無色無臭の気体
- 中性で水に溶けにくい
- 空気中では酸素とすぐに反応
- 血管拡張作用・神経伝達物質

6.6.2 製法

銅と希硝酸



6.6.3 反応

酸素と反応



6.7 二酸化窒素

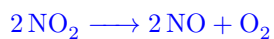
化学式： NO_2

6.7.1 性質

- 赤褐色刺激臭の気体
- 水と反応して強酸性（酸性雨の原因）
- 常温では四酸化二窒素（無色）と平衡状態

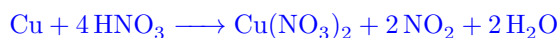


- 140°C 以上で熱分解



6.7.2 製法

銅と濃硝酸



6.8 硝酸

化学式： HNO_3

6.8.1 性質

- 色臭での
- 水に

6.8.2 製法

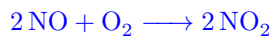
- オストワルト法



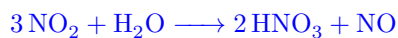
1. 白金触媒でアンモニアを酸化



2. 空気酸化



3. 水と反応



- 硝酸塩に濃硫酸を加えて加熱

6.8.3 反応

第Ⅱ部
金属元素

第 III 部

APPENDIX

7 気体の乾燥剤

固体の乾燥剤はU字管につめて、液体の乾燥剤は洗気瓶に入れて使用。

| 性質 | 乾燥剤 | 化学式 | 対象 | 対象外（不適） |
|-----|----------------|--|--------|--|
| 酸性 | <u>十酸化四リン</u> | <u>P₄O₁₀</u> | 酸性・中性 | 塩基性の気体（ <u>NH₃</u> ） |
| | <u>濃硫酸</u> | <u>H₂SO₄</u> | | + <u>H₂S</u> （ <u>還元剤</u> ） |
| 中性 | <u>塩化カルシウム</u> | <u>CaCl₂</u> | ほとんど全て | <u>NH₃</u> |
| | <u>シリカゲル</u> | <u>SiO₂・nH₂O</u> | | 特になし |
| 塩基性 | <u>酸化カルシウム</u> | <u>CaO</u> | 中性・塩基性 | 酸性の気体 |
| | <u>ソーダ石灰</u> | <u>CaO と NaOH</u> | | <u>Cl₂, HCl, H₂S, SO₂, CO₂, NO₂</u> |