

無機化学

目次

| | | | |
|--------------------|----------|------------------------|-----------|
| 第Ⅰ部 非金属元素 | 2 | 6.3 一酸化二窒素（笑気ガス） | 10 |
| 1 水素 | 2 | 6.4 一酸化窒素 | 10 |
| 1.1 性質 | 2 | 6.5 二酸化窒素 | 11 |
| 1.2 同位体 | 2 | 6.6 硝酸 | 11 |
| 1.3 製法 | 2 | 7 リン | 12 |
| 1.4 反応 | 2 | 7.1 リン | 12 |
| 2 貴ガス | 2 | 7.2 十酸化四リン | 12 |
| 2.1 性質 | 2 | 7.3 リン酸 | 12 |
| 2.2 生成 | 2 | 8 炭素 | 13 |
| 2.3 ヘリウム | 2 | 8.1 炭素 | 13 |
| 2.4 ネオン | 2 | 8.2 一酸化炭素 | 13 |
| 2.5 アルゴン | 2 | 8.3 二酸化炭素 | 13 |
| 3 ハロゲン | 3 | 9 ケイ素 | 13 |
| 3.1 単体 | 3 | 9.1 二酸化ケイ素 | 13 |
| 3.2 ハロゲン化水素 | 4 | 第Ⅱ部 典型金属 | 14 |
| 3.3 ハロゲン化銀 | 5 | 10 アルカリ金属 | 14 |
| 3.4 次亜塩素酸塩 | 5 | 10.1 単体 | 14 |
| 3.5 水素酸カリウム | 5 | 10.2 水酸化ナトリウム（苛性ソーダ） | 14 |
| 4 酸素 | 6 | 10.3 炭酸ナトリウム・炭酸水素ナトリウム | 15 |
| 4.1 酸素原子 | 6 | 第Ⅲ部 APPENDIX | 16 |
| 4.2 酸素 | 6 | 11 気体の乾燥剤 | 16 |
| 4.3 オゾン | 6 | | |
| 4.4 酸化物 | 7 | | |
| 4.5 水 | 7 | | |
| 5 硫黄 | 8 | | |
| 5.1 硫黄 | 8 | | |
| 5.2 硫化水素 | 8 | | |
| 5.3 二酸化硫黄（亜硫酸ガス） | 8 | | |
| 5.4 硫酸 | 9 | | |
| 5.5 チオ硫酸ナトリウム（ハイポ） | 9 | | |
| 5.6 重金属の硫化物 | 10 | | |
| 6 窒素 | 10 | | |
| 6.1 窒素 | 10 | | |
| 6.2 アンモニア | 10 | | |

第 I 部

非金属元素

1 水素

1.1 性質

- 無色無臭の気体
- 最も軽い
- 水に溶けにくい

1.2 同位体

^1H 99% 以上 ^2H (D) 0.015% ^3H (T) 微量

1.3 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) $\text{Zn} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2 \uparrow$
- 水酸化ナトリウムと水

$$\text{NaH} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{NaOH} + \text{H}_2$$

1.4 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

$$\text{CuO} + \text{H}_2 \longrightarrow \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$$

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
- 電子親和力が極めて小さい
- 電気陰性度が定義されない

2.2 生成

^{40}K の電子捕獲

$$^{40}\text{K} + \text{e}^- \longrightarrow ^{40}\text{Ar}$$

2.3 ヘリウム

化学式: He 浮揚ガス

2.4 ネオン

化学式: Ne ネオンサイン

2.5 アルゴン

化学式: 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%)。

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 | | | 大 |
| 分子間力 | 弱 | | | 強 |
| 反応性 | 強 | | | 弱 |
| 沸点・融点 | 低 | | | 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 | 水を酸化して酸素と激しく反応 | 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

$$\text{KHF}_2 \longrightarrow \text{KF} + \text{HF}$$
- 塩化ナトリウム 工業的製法 の電気分解 塩素

$$2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Cl}_2 + \text{H}_2 + 2\text{NaOH}$$
- 酸化マンガン (IV) に濃硫酸を加えて加熱 塩素

$$\text{MnO}_2 + 4\text{HCl} \xrightarrow{\Delta} \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$$
- 高度さらし粉と塩酸 塩素

$$\text{Ca}(\text{ClO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{HCl} \longrightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{Cl}_2 \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$$
- さらし粉と塩酸 塩素

$$\text{CaCl}(\text{ClO}) \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{CaCl}_2 + \text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$$
- 臭化マグネシウムと塩素 臭素

$$\text{MgBr}_2 + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{MgCl}_2 + \text{Br}_2$$
- ヨウ化カリウムと塩素 ヨウ素

$$2\text{KI} + \text{Cl}_2 \longrightarrow 2\text{KCl} + \text{I}_2$$

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

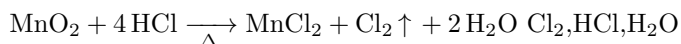
$$2\text{F}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4\text{HF} + \text{O}_2$$
- 塩素と水

$$\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCl} + \text{HClO}$$
- 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) フッ化水素

$$\text{CaF}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\Delta} \text{CaSO}_4 + 2\text{HF} \uparrow$$
- 水素と塩素 (塩化水素) (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 (塩化水素) (弱酸・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

$$\text{HCl} + \text{NH}_3 \longrightarrow \text{NH}_4\text{Cl}$$

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 (→ <u>Ag</u>) | | |

3.3.2 製法

- 酸化銀 (I) にフッ化水素酸を加えて蒸発圧縮

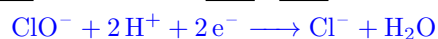
$$\text{Ag}_2\text{O} + 2\text{HF} \longrightarrow 2\text{AgF} + \text{H}_2\text{O}$$
- ハロゲン化水素イオンを含む水溶液と硝酸銀水溶液

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

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

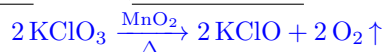
$$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{CaCl}(\text{ClO}) \cdot \text{H}_2\text{O}$$

3.5 水素酸カリウム

化学式: KClO₃

3.5.1 性質

酸素の生成 (二酸化マンガンに触媒に加熱)



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

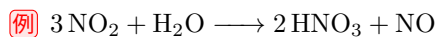
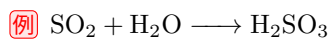
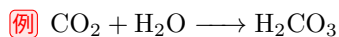
$$\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
- 湿らせた ヨウ化カリウムでんぷん紙 を 青色 に変色

$$\text{O}_3 + 2\text{KI} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{I}_2 + \text{O}_2 + 2\text{KOH}$$

4.4 酸化物

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

両性酸化物… アルミニウム (Al), 亜鉛 (Zn), スズ (Sn), 鉛 (Pb)*¹

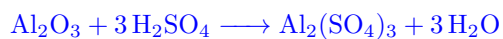


4.4.1 反応

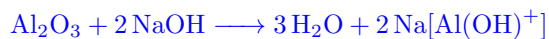
- 酸化銅 (II) と塩化水素



- 酸化アルミニウムと硫酸



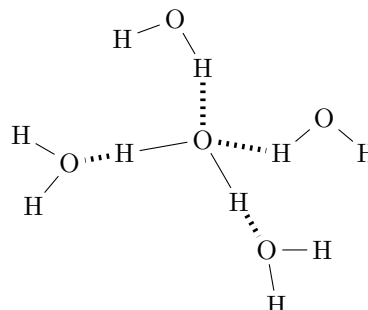
- 酸化アルミニウムと水酸化ナトリウム水溶液



4.5 水

4.5.1 性質

- 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

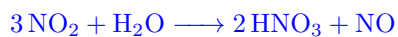


4.5.2 反応

- 酸化カルシウムと水



- 二酸化窒素と水

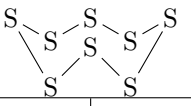
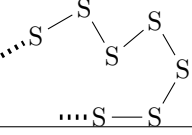


*¹ 覚え方: ああすんなり

5 硫黄

5.1 硫黄

5.1.1 性質

| 名称 | 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

$$Fe + S \longrightarrow FeS$$
- 空气中で青色の炎を上げて燃焼

$$S + O_2 \longrightarrow SO_2$$

5.2 硫化水素

化学式: H_2S

5.2.1 性質

- 無色腐卵臭
- 弱酸性

$$\begin{cases} H_2S \rightleftharpoons H^+ + HS^- & K_1 = 9.5 \times 10^{-8} \text{ mol/L} \\ HS^- \rightleftharpoons H^+ + S^{2-} & K_2 = 1.3 \times 10^{-14} \text{ mol/L} \end{cases}$$
- 還元剤としての反応

$$H_2S \longrightarrow S + 2H^+ + 2e^-$$
- 重金属イオン M_2^+ と難溶性の塩を生成

$$M_2^+ + S^{2-} \rightleftharpoons MS \downarrow$$

5.2.2 製法

- 酸化鉄 (II) と希塩酸

$$FeS + 2HCl \longrightarrow FeCl_2 + H_2S \uparrow$$
- 酸化鉄 (II) と希硫酸

$$FeS + H_2SO_4 \longrightarrow FeSO_4 + H_2S \uparrow$$


5.2.3 反応

- 硫化水素とヨウ素

$$H_2S + I_2 \longrightarrow S + 2HI$$
- 酢酸鉛 (II) 水溶液と硫化水素 (H_2S の検出)

$$(CH_3COO)_2Pb + H_2S \longrightarrow 2CH_3COOH + PbS \downarrow$$

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

$$SO_2 + H_2O \rightleftharpoons H^+ + HSO_3^- \quad K_1 = 1.4 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$
- 還元剤 (漂白作用)

$$SO_2 + 2H_2O \longrightarrow SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^-$$
- 酸化剤 (H_2S などの強い還元剤に対して)

$$SO_2 + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow S + 2H_2O$$

5.3.2 製法

- 硫黄や硫化物の燃焼 (工業的製法)

$$2H_2S + 3O_2 \longrightarrow 2SO_2 + 2H_2O$$
- 亜硫酸ナトリウムと希硫酸

$$Na_2SO_3 + H_2SO_4 \xrightarrow{\Delta} NaHSO_4 + SO_2 \uparrow + H_2O$$
- 銅と熱濃硫酸

$$Cu + 2H_2SO_4 \longrightarrow CuSO_4 + SO_2 \uparrow + 2H_2O$$

5.3.3 反応

- 二酸化硫黄の水への溶解

$$SO_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_3$$
- 二酸化硫黄と硫化水素

$$SO_2 + 2H_2S \longrightarrow 3S + 3H_2O$$
- 硫酸酸性で過マンガン酸カリウムと二酸化硫黄

$$2KMnO_4 + 5SO_2 + 2H_2O \longrightarrow 2MnSO_4 + 2H_2SO_4 + K_2SO_4$$

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)

$$\left(\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HSO}_4^- \quad K_1 > 10^8 \text{mol/L} \right)$$
- 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)

$$\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$$
- 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

$$4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$$

$$(\text{S} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{SO}_2)$$
2. 酸化バナジウム触媒で酸化

$$2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{V}_2\text{O}_5} 2\text{SO}_3$$
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

$$\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$$

5.4.3 反応

- 硝酸カリウムに濃硫酸を加えて加熱

$$\text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{HNO}_3 + \text{KHSO}_4$$
- スクロースと濃硫酸

$$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4} 12\text{C} + 11\text{H}_2\text{O}$$
- 水酸化ナトリウムと希硫酸

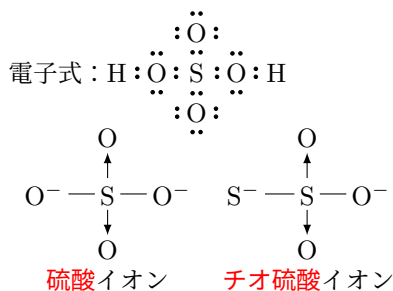
$$\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH} \longrightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$$
- 銀と熱濃硫酸

$$2\text{Ag} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{Ag}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$$
- 塩化バリウム水溶液と希硫酸

$$\text{BaCl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{BaSO}_4 \downarrow + 2\text{HCl}$$

5.5 チオ硫酸ナトリウム (ハイポ)

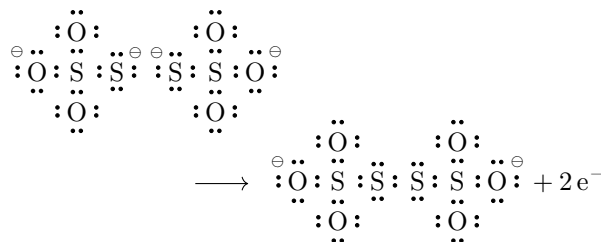
化学式: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$



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)



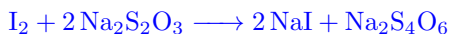
5.5.2 製法

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
 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）

$$\text{NH}_4\text{NO}_2 \xrightarrow{\Delta} \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$$

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

$$\left(\frac{\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-}{K_1 = 1.7 \times 10^{-5} \text{ mol/L}} \right)$$
- 窒素の検出
- 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

6.3.1 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

6.3.2 製法

硝酸アンモニウム（熱分解）

$$\text{NH}_4\text{NO}_2 \xrightarrow{\Delta} \text{N}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$$

6.4 一酸化窒素

化学式：NO

6.4.1 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

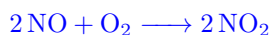
6.4.2 製法

銅と希硝酸



6.4.3 反応

酸素と反応



6.5 二酸化窒素

化学式：NO₂

6.5.1 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

$$2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$$
- 140°C 以上で熱分解

$$2\text{NO}_2 \longrightarrow 2\text{NO} + \text{O}_2$$

6.5.2 製法

銅と濃硝酸



6.6 硝酸

化学式：HNO₃

6.6.1 性質

- 無色刺激臭で揮発性の液体
- 水によく溶ける
- 強酸性

$$\left(\text{HNO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{NO}_3^- \quad K_1 = 6.3 \times 10^{-1} \text{mol/L} \right)$$
- 褐色瓶に保存（光分解）
- 酸化剤としての反応（希硝酸）

$$\text{HNO}_3 + \text{H}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
- 酸化剤としての反応（濃硝酸）

$$\text{HNO}_3 + 3\text{H}^+ + 3\text{e}^- \longrightarrow \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$$
- イオン化傾向が小さい Cu、Hg、Ag も溶解
- Al, Cr, Fe, Co, Ni は酸化皮膜が生じて不溶（濃硝酸）
 = 不動態
- 王水（濃塩酸:濃硝酸=3:1）は、Pt, Au も溶解
- NO₃⁻ は沈殿を作らない ⇒ 褐輪反応で検出

6.6.2 製法

- オストワルト法



1. 白金触媒でアンモニアを酸化

$$4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \longrightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$$
 2. 空気酸化

$$2\text{NO} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{NO}_2$$
 3. 水と反応

$$3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$$
- 硝酸塩に濃硫酸を加えて加熱

$$\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{NaHSO}_4 + \text{HNO}_3 \uparrow$$

6.6.3 反応

- アンモニアと硝酸

$$\text{NH}_3 + \text{HNO}_3 \longrightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3$$
- 硝酸の光分解

$$4\text{HNO}_3 \xrightarrow{\text{光}} 4\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$$
- 亜鉛と希硝酸

$$\text{Zn} + 2\text{HNO}_3 \longrightarrow \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2 \uparrow$$
- 銀と濃硝酸

$$\text{Ag} + 2\text{HNO}_3 \longrightarrow \text{AgNO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{NO}_2 \uparrow$$

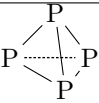
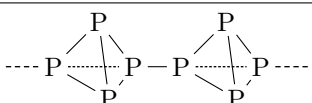
7 リン

7.1 リン

化学式： P_4O_{10}

7.1.1 性質

三種類の同素体がある

| 名称 | 黄リン | 赤リン | 黒リン |
|----------------------|---|---|----------------------|
| 化学式 | <u>P_4</u> | <u>P_x</u> | P_4 |
| 融点 | 44°C | 590°C*2 | 610°C |
| 発火点 | 35°C 水中に保存 | 260°C マッチの側葉 | - |
| 密度 | 1.8g/cm ³ | 2.16g/cm ³ | 2.7g/cm ³ |
| 毒性 | 猛毒 | 微毒 | 微毒 |
| 構造 |  |  | 略 |
| CS ₂ への溶解 | 溶ける | 溶けない | 溶けない |

7.1.2 製法

- リン鉱石にケイ砂とコークスを混ぜて強熱し、蒸気を水で冷却 (黄リン) (工業的製法)
- 空気を遮断して黄リンを 250°C で加熱 (赤リン)
- 空気を遮断して黄リンを 200°C、 1.2×10^9 Pa で加熱 (黒リン)

7.2 十酸化四リン

化学式： P_4O_{10}

7.2.1 性質

- 白色で昇華性のある固体
- 潮解性 (水との親和性が非常に高い)
- 乾燥剤
- 水を加えて加熱すると反応 (加水分解)

7.2.2 製法

リンの燃焼

7.2.3 反応

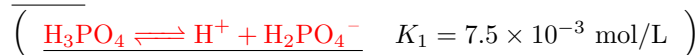
水を加えて加熱

7.3 リン酸

化学式： H_3PO_4

7.3.1 性質

中酸性



7.3.2 反応

- リン酸カルシウムとリン酸が反応して重過リン酸石灰が生成
- リン酸カルシウムと硫酸が反応して過リン酸石灰が生成

8 炭素

8.1 炭素

8.1.1 性質

炭素の同素体は、ダイヤモンド、黒鉛（グラファイト）etc...

| 名称 | <u>ダイヤモンド</u> | <u>黒鉛</u> |
|-------|--------------------------------|-----------------------------|
| 特徴 | <u>無色透明</u> で屈折率が高い固体 | <u>黒色</u> で <u>光沢</u> がある固体 |
| 密度 | 3.5g/cm ³ | 2.3g/cm ³ |
| 構造 | <u>正四面体</u> 方向の <u>共有結合</u> 結晶 | <u>ズレた層状</u> 構造 |
| 電気伝導性 | <u>なし</u> | <u>あり</u> |
| 用途 | 宝石・カッターの刃・研磨剤 | 鉛筆・電極 |

8.2 一酸化炭素

8.3 二酸化炭素

9 ケイ素

9.1 二酸化ケイ素

第II部

典型金属

10 アルカリ金属

10.1 単体

10.1.1 性質

- 銀白色で柔らかい金属
- 全体的に反応性が高く、灯油中に保存
- 原子一個粗利の自由電子が1個（弱い金属結合）
- 還元剤として反応

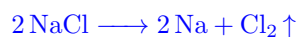


| 化学式 | Li | Na | K | Rb | Cs |
|-----------|------------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------|------------------------|
| 融点 | 181°C | 98°C | 64°C | 39°C | 28°C |
| 密度 | 0.53 | 0.97 | 0.86 | 1.53 | 1.87 |
| 構造 | <u>体心立方</u> 格子（ <u>軽金属</u> ） | | | | |
| イオン化エネルギー | 大 | | | | 小 |
| 反応力 | 小 | | | | 大 |
| 炎色反応 | <u>赤色</u> | <u>黄色</u> | <u>赤紫色</u> | <u>深赤色</u> | <u>青紫色</u> |
| 用途 | リチウムイオン 電池の負極 | トンネル照明 高速増殖炉の冷却材 | 磁気センサー 肥料（K ⁺ ） | 光電池 年代測定 | 光電管 電子時計 (一秒の基準) |

10.1.2 製法

水酸化物や塩化物の溶融塩電解（ダウンス法）工業的製法

CaCl₂添加（凝固点降下）



10.1.3 反応

- ナトリウムと酸素



- ナトリウムと塩素



- ナトリウムと水



10.2 水酸化ナトリウム（苛性ソーダ）

化学式：NaOH

10.2.1 性質

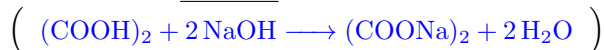
- 白色の固体
- 潮解性
- 水によくとける（水との親和性が非常に高い）
- 乾燥剤

- 強塩基性



- 空気中の二酸化炭素と反応して、純度が不明

酸の標準溶液（シュウ酸）を用いた中和滴定で濃度決定



10.2.2 製法

水酸化ナトリウム水溶液の電気分解（イオン交換膜法）[工業的製法](#)



10.2.3 反応

- 塩酸と水酸化ナトリウム



- 塩素と水酸化ナトリウム



- 二酸化硫黄と水酸化ナトリウム



- 酸化亜鉛と水酸化ナトリウム水溶液



- 二酸化炭素と水酸化ナトリウム



10.3 炭酸ナトリウム・炭酸水素ナトリウム

10.3.1 性質

| 名称 | 炭酸ナトリウム | 炭酸水素ナトリウム |
|-----|--------------------------|------------------|
| 化学式 | Na_2CO_3 | NaHCO_3 |
| 色 | 白色 | 白色 |
| 融点 | 850°C | 熱分解 |
| 液性 | 塩基性 | 弱塩基性 |
| 用途 | ガラスや石鹼の原料 | 胃腸薬・ふくらし粉 |

10.3.2 製法

アンモニアソーダ法（ソルバー法）[工業的製法](#)

10.3.3 反応

- Na_2CO_3 $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^- \quad K_1 = 1.8 \times 10^{-4}$
- NaHCO_3 $\begin{cases} \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} & K_1 = 5.6 \times 10^{-11} \\ \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O} & K_2 = 2.3 \times 10^{-8} \end{cases}$

11 2 族元素

11.1 単体

11.1.1 性質

11.1.2 製法

塩化物の熔融塩電解 [工業的製法](#)

第 III 部

APPENDIX

12 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・n H₂O</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> |