

# 無機化学

## 目次

### 第Ⅰ部 非金属元素 3

1	水素	3
1.1	性質	3
1.2	同位体	3
1.3	製法	3
1.4	反応	3
2	貴ガス	3
2.1	性質	3
2.2	生成	3
2.3	ヘリウム	3
2.4	ネオン	3
2.5	アルゴン	3
3	ハロゲン	4
3.1	単体	4
3.2	ハロゲン化水素	5
3.3	ハロゲン化銀	6
3.4	次亜塩素酸塩	6
3.5	塩素酸カリウム	6
4	酸素	7
4.1	酸素原子	7
4.2	酸素	7
4.3	オゾン	7
4.4	酸化物	8
4.5	水	8
5	硫黄	9
5.1	硫黄	9
5.2	硫化水素	9
5.3	二酸化硫黄（亜硫酸ガス）	10
5.4	硫酸	11
5.5	チオ硫酸ナトリウム（ハイポ）	11
5.6	重金属の硫化物	12
6	窒素	12
6.1	窒素	12
6.2	アンモニア	12
6.3	一酸化二窒素（笑気ガス）	12

6.4	一酸化窒素	12
6.5	二酸化窒素	13
6.6	硝酸	13
7	リン	14
7.1	リン	14
7.2	十酸化四リン	14
7.3	リン酸	14
8	炭素	15
8.1	炭素	15
8.2	一酸化炭素	15
8.3	二酸化炭素	16
9	ケイ素	16
9.1	ケイ素	16
9.2	二酸化ケイ素	17
第Ⅱ部 典型金属		19
10	アルカリ金属	19
10.1	単体	19
10.2	水酸化ナトリウム（苛性ソーダ）	19
10.3	炭酸ナトリウム・炭酸水素ナトリウム	20
11	2 族元素	22
11.1	単体	22
11.2	酸化カルシウム（生石灰）	22
11.3	水酸化カルシウム（消石灰）	23
11.4	炭酸カルシウム（石灰石）	23
11.5	塩化マグネシウム・塩化カルシウム	23
11.6	硫酸カルシウム	24
11.7	硫酸バリウム	24
12	12 族元素	24
12.1	単体	24
12.2	酸化亜鉛（亜鉛華）・水酸化亜鉛	25
12.3	塩化水銀（Ⅰ）・塩化水銀（Ⅱ）	25
13	アルミニウム	26
13.1	アルミニウム	26
13.2	酸化アルミニウム・水酸化アルミニウム	27
13.3	ミョウバン・焼きミョウバン	27
14	スズ・鉛	28
14.1	単体	28

14.2	塩化スズ (II) . . . . .	28
14.3	酸化鉛 (IV) . . . . .	29
14.4	鉛の難溶性化合物 . . . . .	29
第 III 部 遷移元素		30
15	鉄・コバルト・ニッケル	30
15.1	鉄 . . . . .	30
15.2	硫酸鉄 (II) 7 水和物 . . . . .	31
15.3	塩化鉄 (III) 6 水和物 . . . . .	32
15.4	鉄イオンの反応 . . . . .	32
15.5	塩化コバルト (II) . . . . .	32
15.6	硫酸ニッケル (II) . . . . .	32
16	銅	33
16.1	銅 . . . . .	33
16.2	硫酸銅 (II) 5 水和物 . . . . .	34
16.3	銅 (II) イオンの反応 . . . . .	34
16.4	銅の合金 . . . . .	34
17	銀	34
17.1	銀 . . . . .	34
17.2	銀 (I) イオンの反応 . . . . .	35
17.3	難溶性化合物の溶解性 . . . . .	35
18	クロム・マンガン	36
18.1	単体 . . . . .	36
18.2	クロム酸カリウム・二クロム酸カリウム . . . . .	36
18.3	過マンガン酸カリウム . . . . .	37
18.4	マンガンの安定な酸化数 . . . . .	37
第 IV 部 APPENDIX		38
A	気体の乾燥剤	38
B	水の硬度	38
C	金属イオンの難溶性化合物	39
D	錯イオンの命名法	40
E	金属イオンの系統分離	41

## 第 I 部

## 非金属元素

## 1 水素

## 1.1 性質

- ①無色②無臭の③気体
- 最も④軽い
- 水に溶け⑤にくい

## 1.2 同位体

$^1\text{H}$  99% 以上  $^2\text{H}$  (⑥D) 0.015%  $^3\text{H}$  (⑦T) 微量

## 1.3 製法

- ナフサの電気分解 工業的製法
- ⑧赤熱したコークスに⑨水蒸気を吹き付ける 工業的製法  
 $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2 + \text{CO}$
- ⑩水 (⑪水酸化ナトリウム水溶液) の電気分解  
 $2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$
- ⑫イオン化傾向が⑬ $\text{H}_2$  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  $\text{Zn} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2 \uparrow$
- 水素化ナトリウムと水  
 $\text{NaH} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{NaOH} + \text{H}_2$

## 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

⑭He, ⑮Ne, ⑯Ar, ⑰Kr, Xe, Rn

## 2.1 性質

- ⑱無色⑲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⑳極めて小さい
- 電気陰性度が㉑定義されない

## 2.2 生成

$^{40}\text{K}$  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  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  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 <sub>2</sub>	Cl <sub>2</sub>	Br <sub>2</sub>	I <sub>2</sub>
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	[22]気体	[23]気体	[24]液体	[25]固体
色	[26]淡黄色	[27]黄緑色	[28]赤褐色	[29]黒紫色
特徴	[30]特異臭	[31]刺激臭	揮発性	[32]昇華性
H <sub>2</sub> との反応	[33]冷暗所でも爆発的に反応	[34]常温でも [35]光で爆発的に反応	[36]加熱して [37]触媒により反応	高温で平衡状態 [38]加熱して [39]触媒により一部反応
水との反応	水を酸化して酸素と [40]激しく反応	[41]一部とけて反応	[42]一部とけて反応	[43]反応しない [44]KIaq には可溶
用途	保存が困難 Kr や Xe と反応	[45]ClO <sup>-</sup> による [46]殺菌・漂白作用	C=C や C≡C の検出	[47]ヨウ素デンプン反応で [48]青紫色

#### 3.1.2 製法

- フッ化水素ナトリウム KHF<sub>2</sub> のフッ化水素 HF 溶液の電気分解 [工業的製法](#)  

$$\text{KHF}_2 \longrightarrow \text{KF} + \text{HF}$$
- [49]塩化ナトリウム水溶液の電気分解 [塩素](#) [工業的製法](#)  

$$2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Cl}_2 + \text{H}_2 + 2\text{NaOH}$$
- [50]酸化マンガン (IV) に [51]濃塩酸を加えて加熱 [塩素](#)  

$$\text{MnO}_2 + 4\text{HCl} \xrightarrow{\Delta} \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$$
- [52]高度さらし粉と [53]塩酸 [塩素](#)  

$$\text{Ca}(\text{ClO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{HCl} \longrightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{Cl}_2 \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$$
- [54]さらし粉と [55]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



- ヨウ素と水素



- フッ素と水



- 塩素と水



- 臭素と水



- 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



3.1.4 塩素発生実験の装置

$\text{MnO}_2 + 4 \text{HCl} \xrightarrow{\Delta} \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2 \uparrow + 2 \text{H}_2\text{O}$   
 $\text{Cl}_2, \text{HCl}, \text{H}_2\text{O}$   
↓ [56] 水 に通す (HCl の除去)  
 $\text{Cl}_2, \text{H}_2\text{O}$   
↓ [57] 濃硫酸 に通す (H<sub>2</sub>O の除去)  
 $\text{Cl}_2$

3.1.5 塩素のオキソ酸

オキソ酸・・・[58]酸素を含む酸性物質

+ VII	[59]HClO <sub>4</sub> [60] 過塩素酸	<div><div>O</div><div>H-O-Cl-O</div><div>O</div></div>
+ V	[61]HClO <sub>3</sub> [62] 塩素酸	<div><div>O</div><div>H-O-Cl-O</div></div>
+ III	[63]HClO <sub>2</sub> [64] 亜塩素酸	<div><div>H-O-Cl-O</div></div>
+ I	[65]HClO [66]次亜塩素酸	<div><div>H-O-Cl</div></div>

3.2 ハロゲン化水素

3.2.1 性質

化学式	HF	HCl	HBr	HI
色・臭い	[67]無色 [68]刺激臭			
沸点	20℃	−85℃	−67℃	−35℃
水との反応	[69]よく溶ける			
水溶液 (強弱)	[70]フッ化水素酸 [71]塩酸 [72]臭化水素酸 [73]ヨウ化水素酸 [74]弱酸 << [75]強酸 < [76]強酸 < [77]強酸			
用途	[78]ガラスと反応 ⇒ ポリエチレン瓶	[79]アンモニアの検出 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

- [80]ホタル石に[81]濃硫酸を加えて加熱（[82]弱酸遊離） フッ化水素  
 $\text{CaF}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\Delta} \text{CaSO}_4 + 2 \text{HF} \uparrow$
- [83]水素と[84]塩素 塩化水素 工業的製法  
 $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \longrightarrow 2 \text{HCl} \uparrow$
- [85]塩化ナトリウムに[86]濃硫酸を加えて加熱 塩化水素（[87]弱酸・[88]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  
 $\text{SiO}_2 + 6 \text{HF}(\text{aq}) \longrightarrow \text{H}_2\text{SiF}_6 \uparrow + 2 \text{H}_2\text{O}$
- [89]塩化水素による[90]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	[91]黄褐色	[92]白色	[93]淡黄色	[94]黄色
水との反応	[95]よく溶ける	[96]ほとんど溶けない		
光との反応	[97]感光	感光性 (→[98]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  

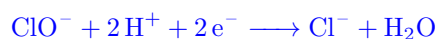
$$\text{Ag}_2\text{O} + 2\text{HF} \longrightarrow 2\text{AgF} + \text{H}_2\text{O}$$
- ハロゲン化水素イオンを含む水溶液と [99]硝酸銀水溶液  

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

## 3.4 次亜塩素酸塩

### 3.4.1 性質

[100]酸化剤として反応 ([101]殺菌・[102]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  

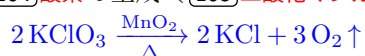
$$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{CaCl}(\text{ClO}) \cdot \text{H}_2\text{O}$$

## 3.5 塩素酸カリウム

化学式: [103] $\text{KClO}_3$

### 3.5.1 性質

[104]酸素の生成 ([105]二酸化マンガン を触媒に加熱)



## 4 酸素

### 4.1 酸素原子

同 [106] 位体：酸素 ( $\text{O}_2$ ), [107] オゾン ( $\text{O}_3$ )

地球の地殻に [108] 最も多く存在

地球の地殻における元素の存在率

[109] O	>	[110] Si	>	[111] Al	>	[112] Fe	>	[113] Ca	>	[114] Na
[115] 酸素		[116] ケイ素		[117] アルミニウム		[118] 鉄		[119] カルシウム		[120] ナトリウム
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： $\text{O}_2$

#### 4.2.1 性質

- [121] 無色 [122] 無臭の [123] 気体
- 沸点  $-183^\circ\text{C}$

#### 4.2.2 製法

- [124] 液体空気の下留 [工業的製法](#)
- [125] 水 ([126] 水酸化ナトリウム水溶液) の [127] 電気分解  

$$2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{H}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow$$
- [128] 過酸化水素水 ([129] オキシドール) の分解  

$$2\text{H}_2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{MnO}_2} \text{O}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$$
- [130] 塩素酸カリウムの熱分解  

$$2\text{KClO}_3 \xrightarrow[\Delta]{\text{MnO}_2} 2\text{KCl} + 3\text{O}_2\uparrow$$

#### 4.2.3 反応

[131] 酸化剤としての反応



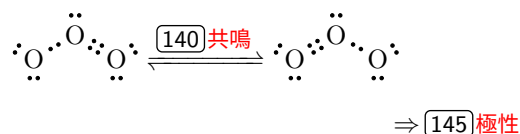
### 4.3 オゾン

化学式：[132]  $\text{O}_3$

#### 4.3.1 性質

- [133] ニンニク臭 ([134] 特異臭) を持つ [135] 淡青色の [136] 気体 (常温)
- 水に [137] 少し溶ける
- [138] 殺菌・[139] 脱臭作用

オゾンにおける酸素原子の運動



#### 4.3.2 製法

酸素中で [146] 無声放電 / 強い [147] 紫外線を当てる



#### 4.3.3 反応

- [148] 酸化剤としての反応  

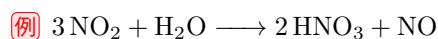
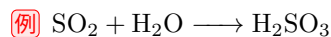
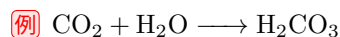
$$\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
- 湿らせた [149] ヨウ化カリウムでんぷん紙を [150] 青色に変色  

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

## 4.4 酸化物

	塩基性酸化物	両性酸化物	酸性酸化物
元素	[151]陽性の大きい金属 元素	[152]陽性の小さい金属 元素	[153]非金属 元素
水との反応	[154]塩基性	[155]ほとんど溶けない	[156]酸性 ([157]オキソ酸)
中和	[158]酸と反応	[159]酸・塩基と反応	[160]塩基と反応

両性酸化物… [161]アルミニウム ([162]Al), [163]亜鉛 ([164]Zn), [165]スズ ([166]Sn), [167]鉛 ([168]Pb)\*<sup>1</sup>



## 4.4.1 反応

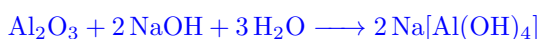
- 酸化銅 (II) と塩化水素



- 酸化アルミニウムと硫酸



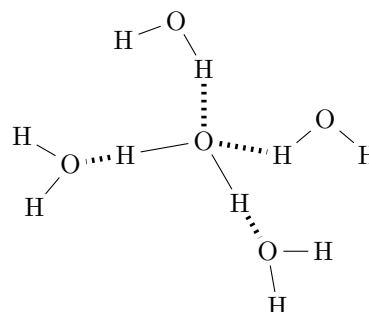
- 酸化アルミニウムと水酸化ナトリウム水溶液



## 4.5 水

## 4.5.1 性質

- [169]極性分子
- 周りの4つの分子と[170]水素結合
- 異常に[171]高い沸点
- [172]隙間の多い結晶構造 (密度: 固体 [173] < 液体)
- 特異な[174]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



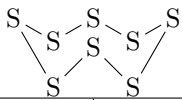
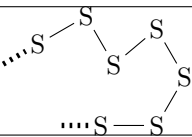
\*<sup>1</sup> 覚え方: ああすんなり



## 5 硫黄

### 5.1 硫黄

#### 5.1.1 性質

名称	[175]斜方硫黄	[176]単斜硫黄	[177]ゴム状硫黄
化学式	[178] $S_8$	[179] $S_8$	[180] $S_x$
色	[181]黄色	[182]黄色	[183]黄色
構造	[184]塊状結晶	[185]針状結晶	[186]不定形固体
融点	113°C	119°C	不定
構造			
CS <sub>2</sub> との反応	[187]溶ける	[188]溶ける	[189]溶けない

CS<sub>2</sub>… 無色・芳香性・揮発性 ⇒ [190]無極性触媒

#### 5.1.2 反応

- 高温で多くの金属 (Au, Pt を除く) と反応



- 空気中で [191]青色の炎を上げて燃焼



## 5.2 硫化水素

化学式: [192] $\text{H}_2\text{S}$

#### 5.2.1 性質

- [193]無色 [194]腐卵臭
- [195]弱酸性
 
$$\begin{cases} [196]\text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HS}^- & K_1 = 9.5 \times 10^{-8} \text{ mol/L} \\ [197]\text{HS}^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{S}^{2-} & K_2 = 1.3 \times 10^{-14} \text{ mol/L} \end{cases}$$
- [198]還元剤としての反応
 
$$\text{H}_2\text{S} \longrightarrow \text{S} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$$
- 重金属イオン  $\text{M}^{2+}$  と [199]難容性の塩を生成
 
$$\text{M}_2^{+} + \text{S}^{2-} \rightleftharpoons \text{MS} \downarrow$$

#### 5.2.2 製法


- 硫化鉄 (II) と希塩酸
 
$$\text{FeS} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{S} \uparrow$$
- 硫化鉄 (II) と希硫酸
 
$$\text{FeS} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{S} \uparrow$$

#### 5.2.3 反応

- 硫化水素とヨウ素
 
$$\text{H}_2\text{S} + \text{I}_2 \longrightarrow \text{S} + 2\text{HI}$$

- 酢酸鉛（Ⅱ）水溶液と硫化水素（ $(200)\text{H}_2\text{S}$  の検出）  
 $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb} + \text{H}_2\text{S} \longrightarrow 2\text{CH}_3\text{COOH} + \text{PbS}\downarrow$

## 5.3 二酸化硫黄（亜硫酸ガス）

化学式： $(201)\text{SO}_2$  電子式：

### 5.3.1 性質

- $(202)$ 無色、 $(203)$ 刺激臭の $(204)$ 気体
- 水に $(205)$ 溶けやすい
- $(206)$ 弱酸性  
 $(207)\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HSO}_3^- \quad K_1 = 1.4 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$
- $(208)$ 還元剤（ $(209)$ 漂白作用）  
 $\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
- $(210)$ 酸化剤（ $(211)\text{H}_2\text{S}$ などの強い還元剤に対して）  
 $\text{SO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \longrightarrow \text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$

### 5.3.2 製法

- 硫黄や硫化物の $(212)$ 燃焼 工業的製法  
 $2\text{H}_2\text{S} + 3\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- $(213)$ 亜硫酸ナトリウムと希硫酸  
 $\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\Delta} \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$
- $(214)$ 銅と $(215)$ 熱濃硫酸  
 $\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$

### 5.3.3 反応

- 二酸化硫黄の水への溶解  
 $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$
- 二酸化硫黄と硫化水素  
 $\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{S} \longrightarrow 3\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 硫酸酸性で過マンガン酸カリウムと二酸化硫黄  
 $2\text{KMnO}_4 + 5\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{MnSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4$

## 5.4 硫酸

## 5.4.1 性質

- [216]無色 [217]無臭の [218]液体
- 水に [219]非常によく溶ける
- 溶解熱が [220]非常に大きい
- [221]水に濃硫酸を加えて希釈
- [222]不揮発性で密度が [223]大きく、[224]粘度が大きい  
濃硫酸
- [225]吸湿性・[226]脱水作用 濃硫酸
- [227]強酸性 希硫酸  
( [228] $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HSO}_4^-$   $K_1 > 10^8 \text{mol/L}$  )
- [229]弱酸性 濃硫酸 ( [230]水が少なく、[231] $\text{H}_3\text{O}^+$ の濃度が小さい)
- [232]酸化剤として働く 熱濃硫酸  
 $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- [233]アルカリ性土類金属 ( [234]Ca, [235]Be)、[236]Pbと難溶性の塩を生成 希硫酸

## 5.4.2 製法

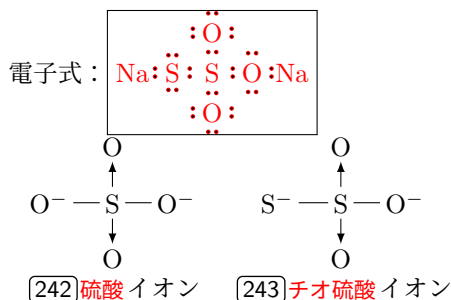
## [237]接触法 工業的製法

1. 黄鉄鉱  $\text{FeS}_2$  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. [238]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. [239]濃硫酸に吸収させて [240]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

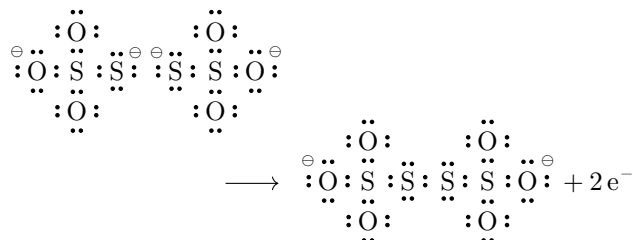
- 硝酸カリウムに濃硫酸を加えて加熱  
 $\text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{HNO}_3 + \text{KHSO}_4$
- スクロースと濃硫酸  
 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4} 12\text{C} + 11\text{H}_2\text{O}$
- 水酸化ナトリウムと希硫酸  
 $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH} \longrightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
- 銅と熱濃硫酸  
 $\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$
- 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: [241] $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 

## 5.5.1 性質

- 無色透明の結晶 (5水和物) で、水に溶けやすい。
- [244]還元剤として反応  
例 水道水の脱塩素剤 (カルキ抜き)  
[245] $2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \longrightarrow \text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2\text{e}^-$



## 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 <sub>2</sub> S	HgS	CuS	PbS	SnS	CdS	NiS	FeS	ZnS	MnS
(246)黒色	(247)黒色	(248)黒色	(249)黒色	(250)褐色	(251)黒色	(252)黒色	(253)黒色	(254)白色	(255)淡赤色
(256)低 イオン化傾向						(257)高			
(258)極小 塩の溶解度積 ( $K_{sp}$ )						(259)小			

## 6 窒素

## 6.1 窒素

化学式：N<sub>2</sub>

## 6.1.1 性質

- (260)無色 (261)無臭の (262)気体
- 空気の 78% を占める
- 水に溶け (263)にくい（(264)無極性分子）
- 常温で (265)不活性（食品などの (266)酸化防止）
- 高エネルギー状態（(267)高温・(268)放電）では反応

## 6.1.2 製法

- (269)液体窒素の分留 (工業的製法)
- (270)亜硝酸アンモニウムの (271)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：(272)NH<sub>3</sub>

## 6.2.1 性質

- (273)無色 (274)刺激臭の (275)気体
- (276)水素結合
- 水に (277)非常によく溶ける（(278)上方置換）
- (279)塩基性  

$$\left( \begin{array}{l} (280)\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \\ K_1 = 1.7 \times 10^{-5} \text{ mol/L} \end{array} \right)$$
- (281)塩素の検出
- 高温・高圧で二酸化炭素と反応して、(282)尿素を生成

## 6.2.2 製法

- (283)ハーバーボッシュ法 (工業的製法)  
(284)低温 (285)高圧で、(286)四酸化三鉄（(287)Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>）触媒  

$$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$$
- (288)塩化アンモニウムと (289)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：(290)N<sub>2</sub>O

## 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
- (291)麻酔効果

## 6.3.2 製法

(292)硝酸アンモニウムの熱分解  

$$\text{NH}_4\text{NO}_3 \xrightarrow{\Delta} \text{N}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$$

## 6.4 一酸化窒素

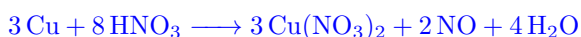
化学式：(293)NO

## 6.4.1 性質

- (294)無色 (295)無臭の (296)気体
- 中性で水に溶けにくい
- 空気中では (297)酸素とすぐに反応
- 血管拡張作用・神経伝達物質

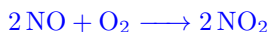
## 6.4.2 製法

[298]銅と[299]希硝酸



## 6.4.3 反応

酸素と反応



## 6.5 二酸化窒素

化学式：[300] $\text{NO}_2$

## 6.5.1 性質

- [301]赤褐色 [302]刺激臭の [303]気体
- 水と反応して [304]強酸性 ([305]酸性雨の原因)
- 常温では [306]四酸化二窒素 ([307]無色) と [308]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

[309]銅と[310]濃硝酸



## 6.6 硝酸

化学式：[311] $\text{HNO}_3$

## 6.6.1 性質

- [312]無色 [313]刺激臭で [314]揮発性の [315]液体
- 水に [316]よく溶ける
- [317]強酸性  

$$\left( \text{[318]HNO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{NO}_3^- \quad K_1 = 6.3 \times 10^{-1} \text{mol/L} \right)$$
- [319]褐色瓶に保存 ([320]光分解)
- [321]酸化剤としての反応 [希硝酸]  

$$\text{HNO}_3 + \text{H}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
- [322]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
- [323]Al, [324]Cr, [325]Fe, [326]Co, [327]Ni は [328]酸化皮膜が生じて不溶 [濃硝酸]  
 = [329]不動態
- [330]王水 ([331]濃塩酸:1 [332]濃硝酸=3:1) は、Pt, Au も溶解
- $\text{NO}_3^-$  は [333]沈殿を作らない  $\Rightarrow$  [334]褐輪反応で検出

## 6.6.2 製法

- [335]オストワルト法



1. [336]白金触媒で [337]アンモニアを [338]酸化  

$$4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \longrightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$$
  2. [339]空気酸化  

$$2\text{NO} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{NO}_2$$
  3. [340]水と反応  

$$3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$$
- [341]硝酸塩に [342]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  


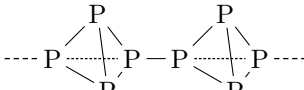
$$\text{Ag} + 2\text{HNO}_3 \longrightarrow \text{AgNO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{NO}_2 \uparrow$$

## 7 リン

### 7.1 リン

#### 7.1.1 性質

三種類の同(343)素体がある

名称	(344)黄リン	(345)赤リン	黒リン
化学式	(346) $P_4$	(347) $P_x$	$P_4$
融点	44°C	590°C*2	610°C
発火点	35°C (348)水中に保存	260°C (349)マッチの側葉	-
密度	1.8g/cm <sup>3</sup>	2.16g/cm <sup>3</sup>	2.7g/cm <sup>3</sup>
毒性	(350)猛毒	(351)微毒	(352)微毒
構造			略
CS <sub>2</sub> への溶解	(353)溶ける	(354)溶けない	(355)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)  

$$2Ca_3(PO_4)_2 + 6SiO_2 + 10C \longrightarrow 6CaSiO_3 + 10CO + P_4$$
- 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、 $1.2 \times 10^9$ Pa で加熱 (黒リン)

### 7.2 十酸化四リン

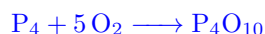
化学式：(356) $P_4O_{10}$

#### 7.2.1 性質

- 白色で昇華性のある固体
- (357)潮解性（水との親和性が(358)非常に高い）
- 乾燥剤
- 水を加えて加熱すると反応（(359)加水分解）

#### 7.2.2 製法

(360)リンの燃焼



#### 7.2.3 反応

水を加えて加熱

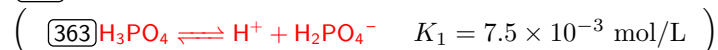


### 7.3 リン酸

化学式：(361) $H_3PO_4$

#### 7.3.1 性質

(362)中酸性



#### 7.3.2 反応

- リン酸と水酸化カルシウムの完全中和  

$$2H_3PO_4 + 3Ca(OH)_2 \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2 + 6H_2O$$
- 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  

$$Ca_3(PO_4)_2 + 4H_3PO_4 \longrightarrow 3Ca(H_2PO_4)_2$$
- 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  

$$Ca_3(PO_4)_2 + 2H_2SO_4 \longrightarrow Ca(H_2PO_4)_2 + 2CaSO_4$$

## 8 炭素

### 8.1 炭素

#### 8.1.1 性質

炭素の同 [364] 素体

- [365] **ダイヤモンド**
- [366] **黒鉛** ([367] **グラファイト**)
- 無定形炭素
  - [用途] 顔料・脱臭剤 (活性炭)
 黒色で、黒鉛の美結晶が不規則に集合。電気伝導性を示す。
- [368] **フラーレン**
  - [用途] 医療・材料分野での応用
 黒褐色で、60 個の炭素原子がサッカーボール状につながった分子結晶。電気伝導性を示さない。
- グラフェン
  - [用途] 半導体材料への応用
 黒鉛の平面性六角形状の層のうち一層だけを取り出したもの。電気伝導性を示す。
- カーボンナノチューブ
  - [用途] 水素吸蔵・電池電極への応用
 グラフェンを円筒状に巻いたもの。電気伝導性を示す。

名称	[369] <b>ダイヤモンド</b>	[370] <b>黒鉛</b>
特徴	[371] <b>無色</b> [372] <b>透明</b> で屈折率が高い固体	[373] <b>黒色</b> で [374] <b>光沢</b> がある固体
密度	3.5g/cm <sup>3</sup>	2.3g/cm <sup>3</sup>
構造	[375] <b>正四面体</b> 方向の [376] <b>共有結合</b> 結晶	[377] <b>ズレた層状構造</b> ([378] <b>ファンデルワールス力</b> )
硬さ	[379] <b>非常に硬い</b>	[380] <b>軟らかい</b>
沸点	[381] <b>高い</b>	[382] <b>高い</b>
電気伝導性	[383] <b>なし</b>	[384] <b>あり</b>
用途	宝石・カッターの刃・研磨剤	鉛筆・電極

### 8.2 一酸化炭素

化学式: [385] **CO**

電子式	$:C::\ddot{O} \overset{\text{[386] 共鳴}}{\longleftrightarrow} :\overset{\ominus}{C}::\overset{\oplus}{O}: :N::N:$	
原子間距離	0.113nm	0.110nm

C, O 電子の持つ [391] **電荷** による効果  
 C≡O 間の [392] **電気陰性度** の差による効果

} CO の極性は [393] **小さい**

#### 8.2.1 性質

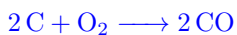
- [394] **無色** [395] **無臭** で [396] **有毒** な気体
- 赤血球のヘモグロビンの [397] **Fe<sup>2+</sup>** に対して強い [398] **酸化結合**
- [399] **中性** で水に溶け [400] **にくい**。 ([401] **水上置換**)
- [402] **可燃性**、高温で [403] **還元性** ([404] **鉄** との親和性が非常に高い)

#### 8.2.2 製法

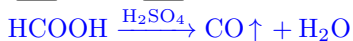
- [405] **赤熱したコークス** に [406] **水蒸気** を吹き付ける **工業的製法**



- 炭素の(407)不完全燃焼



- (408)ギ酸に(409)濃硫酸を加えて加熱

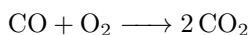


- (410)シュウ酸に(411)濃硫酸を加えて加熱

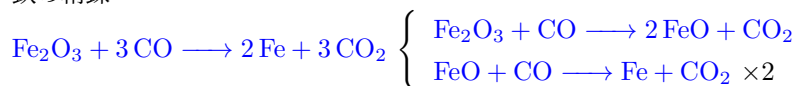


### 8.2.3 反応

- 燃焼



- 鉄の精錬



## 8.3 二酸化炭素

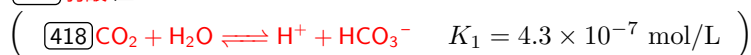
### 8.3.1 性質

- (412)無色(413)無臭で(414)昇華性（固体は(415)ドライアイス）

- 大気の0.04%を占める

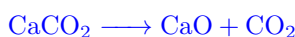
- 水に(416)少し溶ける

- (417)弱酸性

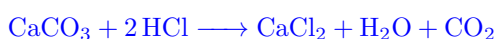


### 8.3.2 製法

- (419)炭酸カルシウムを強熱(工業的製法)



- (420)希塩酸と(421)石灰石



- (422)炭酸水素ナトリウムの熱分解



### 8.3.3 反応

- 二酸化炭素と水酸化ナトリウム



- (423)石灰水に通じると(424)白濁しさらに通じると(425)白濁が消える



## 9 ケイ素

### 9.1 ケイ素

#### 9.1.1 性質

- (426)灰色で(427)光沢がある(428)共有結合結晶

- (429)硬いがもろい



- (430)半導体に使用（高純度のケイ素）\*3  
高温にしたり微小の他電子を添加すると電気伝導性が(431)上昇（金属は高温で電気伝導性が(432)降下）

### 9.1.2 製法

- (433)ケイ砂と(434)一酸化炭素を混ぜて強熱(工業的製法)  
 $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \longrightarrow \text{Si} + 2\text{CO}$
- (435)ケイ砂と(436)マグネシウム粉末を混ぜて加熱  
 $\text{SiO}_2 + 2\text{Mg} \longrightarrow \text{Si} + 2\text{MgO}$

## 9.2 二酸化ケイ素

化学式：(437) $\text{SiO}_2$

### 9.2.1 性質

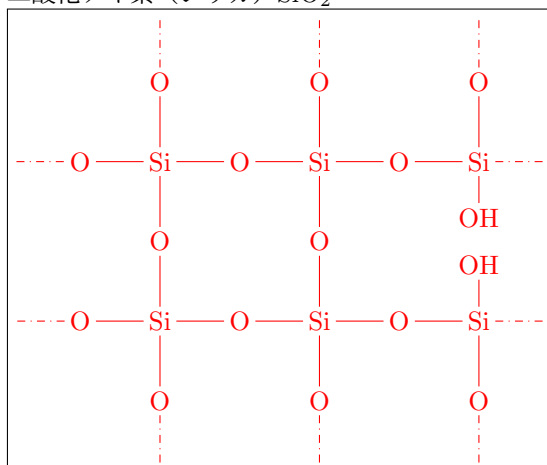
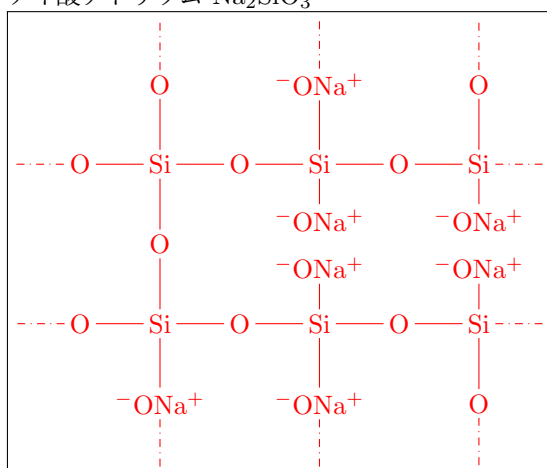
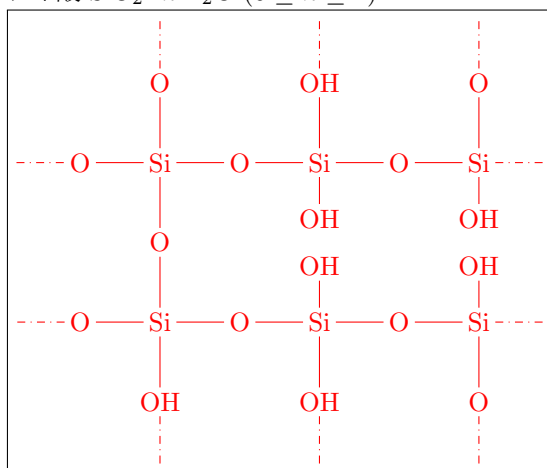
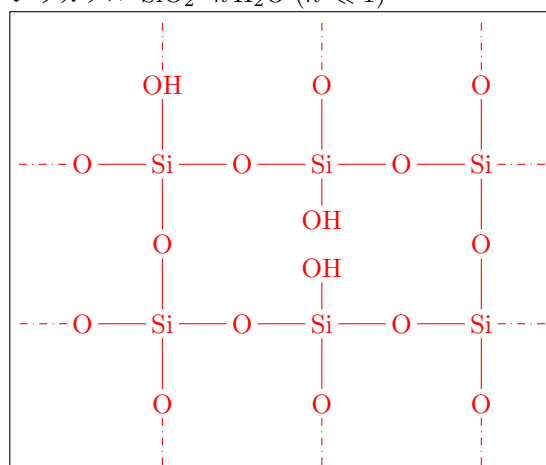
- (438)無色(439)透明の(440)共有結合結晶
- (441)硬い
- 地球の近く中に多く存在（ケイ砂、石英、水晶）
- (442)酸性酸化物
- (443)シリカゲル（(444)乾燥剤・吸着剤）の生成に用いられる  
多孔質、適度な数の(445)ヒドロキシ基

### 9.2.2 反応

- (446)フッ化水素と反応  
 $\text{SiO}_2 + 4\text{HF} \longrightarrow \text{SiF}_4\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$
- (447)フッ化水素酸と反応  
 $\text{SiO}_2 + 6\text{HF} \longrightarrow \text{H}_2\text{SiF}_6\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$
- (448)水酸化ナトリウムや(449)炭酸ナトリウムがガラスを侵す反応（(450)水ガラスの生成）  
 $\text{SiO}_2 + 2\text{NaOH} \longrightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$   
 $\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \longrightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2$
- (451)水ガラスと(452)塩酸から(453)ケイ酸の白色ゲル状沈澱が生じる反応  
 $\text{NaSiO}_3 + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{H}_2\text{SiO}_3\downarrow + 2\text{NaCl}$
- (454)ケイ酸を加熱してシリカゲルを得る反応  
 $\text{H}_2\text{SiO}_3 \xrightarrow{\Delta} \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} + (1-n)\text{H}_2\text{O} \quad (0 < n < 1)$

\*3 6N… 太陽電池用、11N… 集積回路用

## シリカゲル生成過程での構造変化

1. 二酸化ケイ素 (シリカ)  $\text{SiO}_2$ 2. ケイ酸ナトリウム  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 3. ケイ酸  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  ( $0 \leq n \leq 1$ )4. シリカゲル  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  ( $n \ll 1$ )

## 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(455)柔らかい金属
- 全体的に反応性が高く、(456)灯油中に保存
- 原子一個あたりの自由電子が(457)1個（(458)弱い(459)金属結合）
- 還元剤として反応

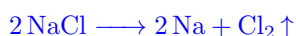


化学式	Li	Na	K	Rb	Cs
融点	181°C	98°C	64°C	39°C	28°C
密度	0.53	0.97	0.86	1.53	1.87
構造	(460)体心立方格子（(461)軽金属）				
イオン化エネルギー	大				小
反応力	小				大
炎色反応	(462)赤色	(463)黄色	(464)赤紫色	(465)深赤色	(466)青紫色
用途	リチウムイオン 電池の負極	トンネル照明 高速増殖炉の冷却材	磁気センサー 肥料（K <sup>+</sup> ）	光電池 年代測定	光電管 電子時計 （一秒の基準）

## 10.1.2 製法

水酸化物や塩化物の(467)溶融塩電解（(468)ダウンス法）(工業的製法)

(469)CaCl<sub>2</sub>添加（(470)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



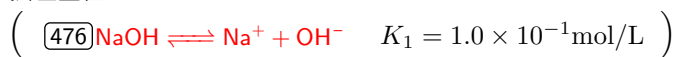
## 10.2 水酸化ナトリウム（苛性ソーダ）

化学式：(471)NaOH

## 10.2.1 性質

- (472)白色の固体
- (473)潮解性
- 水によくとける（水との親和性が(474)非常に高い）
- (475)乾燥剤

- 強塩基性



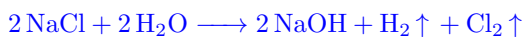
- 空気中の [477]二酸化炭素 と反応して、純度が不明

酸の標準溶液 ([478]シュウ酸) を用いた中和滴定で濃度決定



### 10.2.2 製法

[479]水酸化ナトリウム水溶液の [480]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



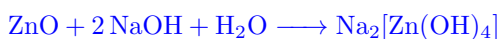
- 塩素と水酸化ナトリウム



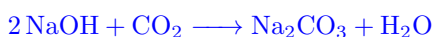
- 二酸化硫黄と水酸化ナトリウム



- 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



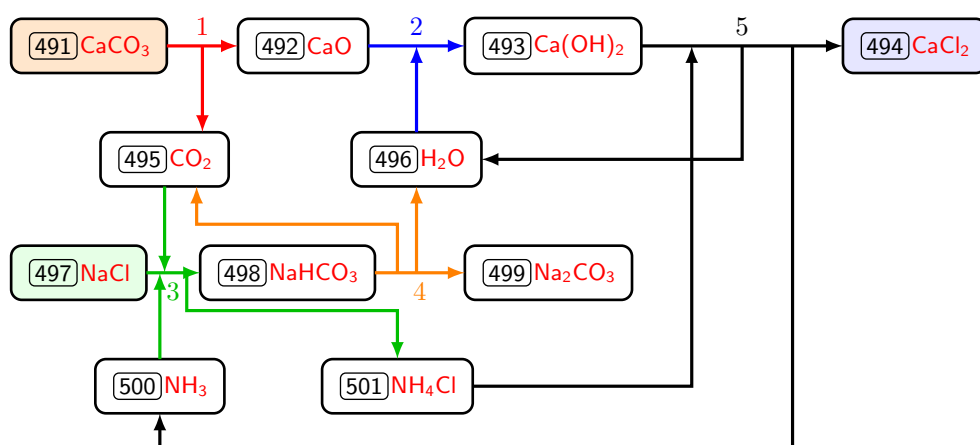
## 10.3 炭酸ナトリウム・炭酸水素ナトリウム

### 10.3.1 性質

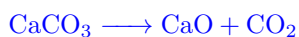
名称	炭酸ナトリウム	炭酸水素ナトリウム
化学式	[481] $\text{Na}_2\text{CO}_3$	[482] $\text{NaHCO}_3$
色	[483]白色	[484]白色
融点	850°C	[485]熱分解
液性	[486]塩基性	[487]弱塩基性
用途	[488]ガラスや石鹼の原料	胃腸薬・ふくらし粉

## 10.3.2 製法

(489) アンモニアソーダ法 (490) ソルバー法 (工業的製法)



1. (502) 炭酸カルシウム の (503) 熱分解



2. (504) 酸化カルシウム と (505) 水



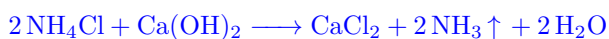
3. (506) 塩化ナトリウム水溶液 に (507) アンモニア を溶解させてから、(508) 二酸化炭素 を溶解



4. (509) 炭酸水素ナトリウム の (510) 熱分解



5. (511) 水酸化カルシウム と (512) 塩化アンモニウム



## 10.3.3 反応

- $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (513)  $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$   $K_1 = 1.8 \times 10^{-4}$
- $\text{NaHCO}_3$ 
  - (514)  $\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$   $K_1 = 5.6 \times 10^{-11}$
  - (515)  $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O}$   $K_2 = 2.3 \times 10^{-8}$

## 11 2 族元素

(516)Be, (517)Mg, (518)アルカリ土類金属

### 11.1 単体

#### 11.1.1 性質

化学式	(519)Be	(520)Mg	(521)Ca	(522)Sr	(523)Ba
融点	1282°C	649°C	839°C	769°C	729°C
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.85	1.74	1.55	2.54	3.59
(524)還元力	小 <span style="display: inline-block; width: 100px; border-bottom: 1px solid black;"></span> 大				
水との反応	(525)反応しない	(526)熱水と反応	(527)冷水と反応	(528)冷水と反応	(529)冷水と反応
M(OH) <sub>2</sub> の水溶性	(530)難溶性 ( (531)弱塩基性 )		(532)可溶性 ( (533)強塩基性 )		
難溶性の塩	(534)MCO <sub>3</sub>		(535)MCO <sub>3</sub> , MSO <sub>4</sub>		
炎色反応	(536)示さない	(537)示さない	(538)橙赤	(539)紅	(540)黄緑
用途	X線通過窓	フラッシュ	精錬の還元剤	発煙筒	ゲッター

#### 11.1.2 製法

塩化物の (541)溶融塩電解 (工業的製法)

#### 11.1.3 反応

- マグネシウムの燃焼  

$$2\text{Mg} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{MgO}$$
- マグネシウムと二酸化炭素  

$$2\text{Mg} + \text{CO}_2 \longrightarrow 2\text{MgO} + \text{C}$$
- カルシウムと水  

$$\text{Ca} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2 \uparrow$$

## 11.2 酸化カルシウム（生石灰）

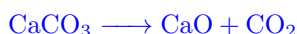
化学式: (542)CaO

#### 11.2.1 性質

- (543)白色
- (544)水との親和性が (545)非常に高い ( (546)乾燥剤 )
- (547)塩基性酸化物
- 水との反応熱が (548)非常に大きい ( (549)加熱剤 )

#### 11.2.2 製法

(550)炭酸カルシウムの (551)熱分解



#### 11.2.3 反応

- コークスを混ぜて強熱すると、(552)炭化カルシウム ( (553)カーバイド ) が生成  

$$\text{CaO} + 3\text{C} \longrightarrow \text{CaC}_2 + \text{CO} \uparrow$$
- (554)水と反応して (555)アセチレンが生成  

$$\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CaH}_2 \uparrow + \text{Ca(OH)}_2$$

## 11.3 水酸化カルシウム（消石灰）

化学式：(556)  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

### 11.3.1 性質

- (557) 白色
- 水に (558) 少し溶ける 固体
- (559) 強塩基  $\left( (560) \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{OH})^+ + \text{OH}^- \quad K_1 = 5.0 \times 10^{-2} \right)$
- 水溶液は (561) 石灰水

### 11.3.2 製法

(562) 酸化カルシウム と (563) 水 (工業的製法)



### 11.3.3 反応

- 塩素と反応して、(564) さらし粉 が生成  
$$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{CaCl}(\text{ClO}) \cdot \text{H}_2\text{O}$$
- 580°C 以上で (565) 熱分解  
$$\text{Ca}(\text{OH})_2 \longrightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$$
- 二酸化炭素との反応  
$$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$$
- 塩化アンモニウムとの反応  
$$2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \longrightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{NH}_3 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$$

## 11.4 炭酸カルシウム（石灰石）

化学式：(566)  $\text{CaCO}_3$

### 11.4.1 性質

- (567) 白色で、水に (568) 溶けにくい
- (569) 鍾乳洞 の形成

### 11.4.2 反応

- 800°C 以上で (570) 熱分解  
$$\text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$$
- (571) 二酸化炭素 を多く含む水に (572) 溶解  
$$\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$$

## 11.5 塩化マグネシウム・塩化カルシウム

化学式：(573)  $\text{MgCl}_2$  ・ (574)  $\text{CaCl}_2$

### 11.5.1 性質

(575) 潮解 性があり、水に (576) よく溶ける（水との親和性が (577) 非常に高い）  
(578) 乾燥 剤 (塩化カルシウム)、(579) 融雪 剤

11.5.2 製法

- 海水から得た 580 にがり を濃縮 塩化マグネシウム 工業的製法
- 581 アンモニアソーダ法 ( 582 ソルバー法 ) 塩化カルシウム 工業的製法

11.6 硫酸カルシウム

化学式： 583  $\text{CaSO}_4$

11.6.1 性質

584 セッコウ を約 150℃ で加熱すると、585 焼きセッコウ が生成  
586 水 を加えると、587 発熱 ・ 588 膨張 ・ 589 硬化 して 590 セッコウ に戻る  
$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons[\text{硬化}]{\Delta} \text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O} + \frac{3}{2}\text{H}_2\text{O}$$
  
用途 医療用ギプス・石膏像・建材

11.7 硫酸バリウム

化学式： 591  $\text{BaSO}_4$

11.7.1 性質

- 592 白色で、水に 593 ほとんど溶けない 固体
- 反応性が 594 低 く、X 線を遮蔽

12 12 族元素

12.1 単体

12.1.1 性質

化学式	595 Zn	596 Cd	597 Hg
融点	420℃	321℃	−39℃
密度	7.1	8.6	13.6
$\text{M}^{2+}\text{aq} + \text{H}_2\text{S}$ (沈澱条件)	598 白色の 599 ZnS ↓ ( 604 中塩基性 )	600 黄色の 601 CdS ↓ ( 605 全液性 )	602 黒色の 603 HgS ↓ ( 606 全液性 )
特性	高温の水蒸気と反応 608 両性 元素	$\text{Cd}^{2+}$ は $\text{Ca}^{2+}$ と類似 ⇒ イタイイタイ病	607 合金 を作りやすい ( 609 アマルガム )
用途	610 トタン (鉄にメッキ)	ニカド電池 (Ni-Cd)	体温計・蛍光灯

- 12 族の硫化物は 611 顔料 や 612 染料 に利用
- $\text{HgS}$  は 450℃ で消火させると 613 赤 色に変化

12.1.2 製法

閃亜鉛鉱を焙焼して得た酸化亜鉛に、コークスを混ぜて加工 工業的製法  
$$2\text{ZnS} + 3\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{ZnO} + 2\text{SO}_2$$
$$\text{ZnO} + \text{C} \longrightarrow \text{Zn} + \text{CO}$$

12.1.3 反応

- 高温の水蒸気と反応  
$$\text{Zn} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{ZnO} + \text{H}_2 \uparrow$$



- 塩酸と反応



- 水酸化ナトリウム水溶液と反応



## 12.2 酸化亜鉛（亜鉛華）・水酸化亜鉛

化学式： $\text{[614]ZnO} \cdot \text{[615]Zn}(\text{OH})_2$

### 12.2.1 性質

- $\text{[616]}$ 白色で、水に $\text{[617]}$ とけにくい固体
- 酸化亜鉛は $\text{[618]}$ 顔料
- $\text{[619]}$ 両性酸化物/水酸化物
- $\text{[620]}$ 酸・（強） $\text{[621]}$ 塩基と反応  $\text{Zn}^{2+}$  は、 $\text{[622]OH}^-$  とも  $\text{[623]NH}_3$  とも錯イオンを形成

### 12.2.2 製法

- 亜鉛を燃焼  $\text{[工業的製法]酸化亜鉛}$   

$$2\text{Zn} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{ZnO}$$
- 亜鉛イオンを含む水溶液に、少量の  $\text{[624]OH}^-$  を加える  $\text{[水酸化亜鉛]}$   

$$\text{Zn}^{2+} + 2\text{OH}^- \longrightarrow \text{Zn}(\text{OH})_2 \downarrow$$

### 12.2.3 反応

- 酸化亜鉛と塩酸  

$$\text{ZnO} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
- 酸化亜鉛と水酸化ナトリウム水溶液  

$$\text{ZnO} + 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$$
- 水酸化亜鉛と塩酸  

$$\text{Zn}(\text{OH})_2 + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{ZnCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$$
- 水酸化亜鉛と水酸化ナトリウム水溶液  

$$\text{Zn}(\text{OH})_2 + 2\text{NaOH} \longrightarrow \text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$$
- 水酸化亜鉛の過剰な  $\text{[625]アンモニア}$  との反応  

$$\text{Zn}(\text{OH})_2 + 4\text{NH}_3 \longrightarrow [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$$

## 12.3 塩化水銀（Ⅰ）・塩化水銀（Ⅱ）

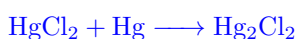
化学式： $\text{[626]Hg}_2\text{Cl}_2 \cdot \text{[627]HgCl}$

### 12.3.1 性質

- 白色で、水に溶けにくい固体で、微毒  $\text{[塩化水銀（Ⅰ）]}$
- 白色で、水に少し溶ける固体で、猛毒  $\text{[塩化水銀（Ⅱ）]}$

### 12.3.2 製法

水酸化銀（Ⅱ）と水銀の混合物を加熱



## 13 アルミニウム

### 13.1 アルミニウム

#### 13.1.1 性質

- 密度が [628] 小さく、[629] やわらかい 金属
- 展性・延性が [630] 大きく、電気・熱伝導率が [631] 高い

電気・熱伝導性が高い金属

[632] Ag > [633] Cu > [634] Au > [635] Al

- [636] 両性 元素 ([637] 濃硝酸 には [638] 不動態 となり反応しない)  
表面の緻密な [639] 酸化被膜 が内部を保護 ([640] Al, [641] Cr, [642] Fe, [643] Co, [644] Ni<sup>\*4</sup>)  
電気分解 ([645] 陽極) で人工的に厚い酸化被膜をつける製品加工 ([646] アルマイト)
- イオン化傾向が [647] 大きく、[648] 還元力が [649] 高い
- [650] テルミット 反応 (多量の [651] 熱・[652] 光 が発生)

#### 13.1.2 製法

- [653] ボーキサイト から得た [654] 酸化アルミニウム ([655] アルミナ) の溶融塩電解 [工業的製法](#)
- バイヤー法
  - [656] ボーキサイトを濃い [657] 水酸化ナトリウム 水溶液に溶解  

$$\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH} + 3\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$$
  - 溶解しない不純物を濾過して、濾液を水で希釈して  $\text{Al}(\text{OH})_3$  の種結晶を入れる  

$$\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] \longrightarrow \text{NaOH} + \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$$
  - 成長した  $\text{Al}(\text{OH})_3$  を強熱  

$$2\text{Al}(\text{OH})_3 \longrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$$
- ホールエール法
  - [658] 氷晶石  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  を融解し、酸化アルミニウムを溶解
  - [659] 炭素 電極で電気分解
 
$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{陽極} & \text{C} + \text{O}^{2-} \longrightarrow \text{CO} + 2\text{e}^-, \text{C} + 2\text{O}^{2-} \longrightarrow \text{CO}_2 + 4\text{e}^- \\ \text{陰極} & \text{Al}_3^+ + 3\text{e}^- \longrightarrow \text{Al} \end{array} \right.$$

#### 13.1.3 反応

- アルミニウムの燃焼  

$$4\text{Al} + 3\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3$$
- アルミニウムと高温の水蒸気  

$$2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2 \uparrow$$
- テルミット反応  

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} \longrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Fe}$$

\*4 てつこに

## 13.2 酸化アルミニウム・水酸化アルミニウム

化学式： $\text{[660]Al}_2\text{CO}_3 \cdot \text{[661]Al(OH)}_3$  酸化アルミニウムの別称： $\text{[662]アルミナ}$

### 13.2.1 性質

- $\text{[663]}$ 白色で、水に  $\text{[664]}$ 溶けにくい
- $\text{[665]}$ 両性酸化物/水酸化物  
 $\text{[666]}$ 酸・(強)  $\text{[667]}$ 塩基と反応  
 $\text{Al}^{3+}$  は  $\text{[668]OH}^-$  と錯イオンを形成し、 $\text{[669]NH}_3$  とは形成しない

### 13.2.2 製法

- バイヤー法
- アルミニウムイオンを含む水溶液に、少量の  $\text{[670]}$ 塩基を加える  $\text{[水酸化アルミニウム]}$   

$$\text{Al}_3^{+} + 3\text{OH}^{-} \longrightarrow \text{Al(OH)}_3 \downarrow$$

### 13.2.3 反応

- 酸化アルミニウムと塩酸  

$$\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{HCl} \longrightarrow 2\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$$
- 酸化アルミニウムと水酸化ナトリウム水溶液  

$$\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH} + 3\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{Na[Al(OH)}_4\text{]}$$
- 水酸化アルミニウムと塩酸  

$$\text{Al(OH)}_3 + 3\text{HCl} \longrightarrow \text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$$
- 水酸化アルミニウムと水酸化ナトリウム水溶液  

$$\text{Al(OH)}_3 + \text{NaOH} \longrightarrow \text{Na[Al(OH)}_4\text{]}$$

## 13.3 ミョウバン・焼きミョウバン

化学式： $\text{[671]AlK(SO}_4\text{)}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O} \cdot \text{[672]AlK(SO}_4\text{)}_2$

### 13.3.1 性質

- $\text{[673]}$ 白色で、水に  $\text{[674]}$ 溶ける固体
- $\text{[675]}$ 酸性  

$$\left( \text{[676]Al}^{3+} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al(OH)}_2^{+} + \text{H}^{+} \quad K_1 = 1.1 \times 10^{-5} \text{ mol/L} \right)$$
- $\text{Al}^{3+}$  は価数が  $\text{[677]}$ 大きい陽イオン  
粘土 ( $\text{[678]}$ 負の  $\text{[679]}$ 疎水コロイド) で濁った水の浄水処理 ( $\text{[680]}$ 凝析)
- 水への溶解  

$$\text{AlK(SO}_4\text{)}_2 \longrightarrow \text{Al}_3^{+} + \text{K}^{+} + \text{SO}_4^{2-}$$

### 13.3.2 製法

硫酸化アルミニウムと硫酸カリウムの混合水溶液を濃縮

## 14 スズ・鉛

### 14.1 単体

#### 14.1.1 性質

化学式	$[681]\text{Sn}$	$[682]\text{Pb}$
特徴	灰白色で柔らかい金属	青白色で柔らかい金属
融点	232°C	328°C
密度	7.28	11.4
特性	$[683]$ 両性元素	
用途	$[684]$ ブリキ（鉄にメッキ） $[685]$ 鉛蓄電池の $[686]$ 負極 $[687]$ 放射線の遮蔽	

【合金】

Cu + Sn...  $[688]$ 青銅

Sn + Pb...  $[689]$ はんだ

#### 14.1.2 製法

- 錫石  $\text{SnO}_2$  にコークスを混ぜて加熱  $[工業的製法]$   

$$\text{SnO}_2 + 2\text{C} \longrightarrow \text{Sn} + 2\text{CO}$$
- 方鉛鉱  $\text{PbS}$  を焙焼してから、コークスを混ぜて加熱  $[工業的製法]$   

$$2\text{PbS} + 3\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{PbO} + 2\text{SO}_2$$

$$\text{PbO} + \text{C} \longrightarrow \text{Pb} + \text{CO}$$

#### 14.1.3 反応

- 鉛と  $[690]$ 希硝酸  

$$3\text{Pb} + 8\text{HNO}_3 \longrightarrow 3\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{NO}$$
- 鉛と  $[691]$ 酢酸  

$$2\text{Pb} + 4\text{CH}_3\text{COOH} + \text{O}_2 \longrightarrow 2(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb} + 2\text{H}_2\text{O}$$
- スズと  $[692]$ 塩酸  

$$\text{Sn} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{SnCl}_2 + \text{H}_2 \uparrow$$
- 鉛蓄電池における反応  

$$\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \xrightleftharpoons[\text{充電}]{\text{放電}} 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \quad \left\{ \begin{array}{ll} \text{正極} & \text{PbO}_2 + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \\ \text{負極} & \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-} \longrightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{e}^- \end{array} \right.$$

## 14.2 塩化スズ（Ⅱ）

### 14.2.1 性質

#### 14.2.2 製法

スズと  $[693]$ 塩酸

$$\text{Sn} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{SnCl}_2 + \text{H}_2 \uparrow$$

#### 14.2.3 反応

塩化鉄（Ⅲ）水溶液と塩化スズ（Ⅱ）水溶液

$$2\text{FeCl}_3 + \text{SnCl}_2 \longrightarrow 2\text{FeCl}_2 + \text{SnCl}_4$$

〔備考〕塩化スズ（Ⅳ）水溶液と硫化水素

$$\text{SnCl}_4 + 2\text{H}_2\text{S} \longrightarrow \text{SnS} + \text{S} + 4\text{HCl}$$

## 14.3 酸化鉛 (IV)

### 14.3.1 性質

(694)還元剤として働く



### 14.3.2 製法

酢酸鉛 (II) 水溶液にさらし粉を加える

### 14.3.3 反応

酸化鉛 (IV) に濃塩酸を加えて加熱



## 14.4 鉛の難溶性化合物

- 加熱すると溶けやすい
- (695)酢酸鉛 (II) 紙を用いた (696)硫化水素の検出 ((697)黒色)

## 第 III 部

## 遷移元素

d 軌道・f 軌道（内殻）の秋に電子が入っていき、最外殻電子の数は [698]1 か 2

（[699]ランタノイド・[700]アクチノイド：f 軌道に入っていく過程）

同族元素だけでなく、同周期元素も性質が似ている。

- 単体は密度が [701]大きく、融点が [702]高い金属
- d 軌道の一部の電子も価電子
- 化合物やイオンは [703]白色のことが多い
- 安定な [704]錯イオンを形成しやすい（[705]d 軌道に空きがある）
- 単体や化合物は [706]触媒になるものが多い\*5
- 酸化数が  $\left\{ \begin{array}{c} \text{小さい} \\ \text{大きい} \end{array} \right\}$  酸化物は  $\left\{ \begin{array}{c} \text{[707]還元} \\ \text{[708]酸化} \end{array} \right\}$  剤

## 15 鉄・コバルト・ニッケル

## 15.1 鉄

## 15.1.1 性質

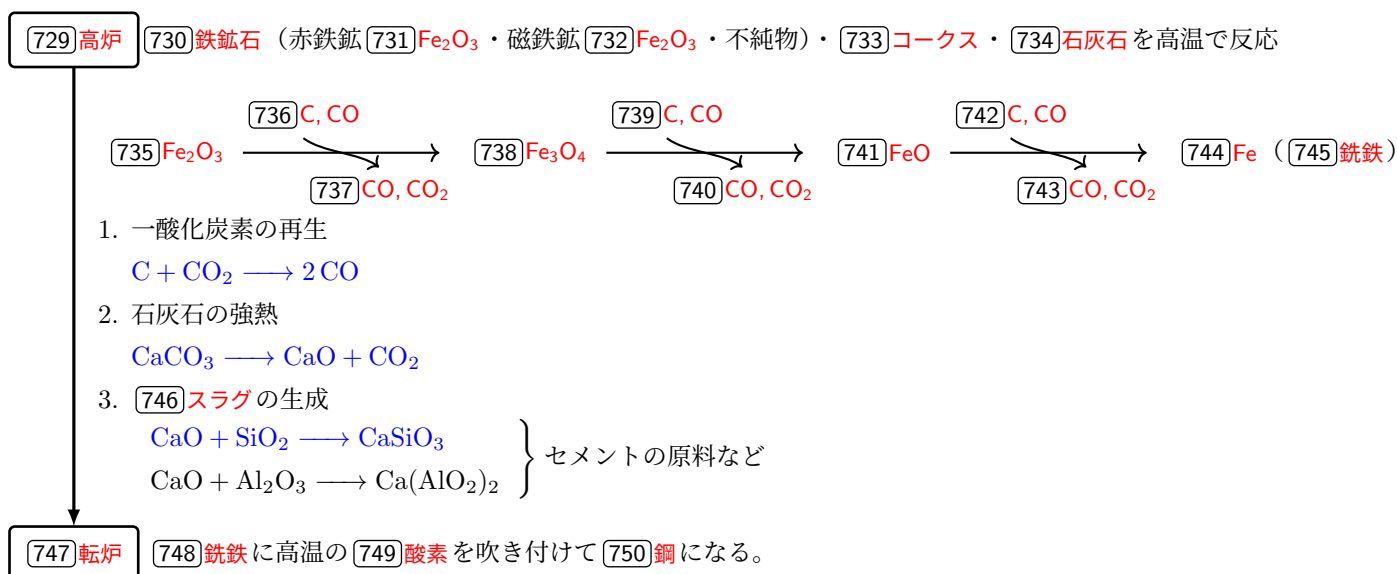
- 常温で [709]強磁性
- イオン化傾向が水素より [710]大きい  
[711]強酸と反応（[712]濃硝酸には [713]不動態となり反応しない）
- [714]高温の水蒸気と反応して [715]緻密な [716]黒錆が生成（酸化被膜）
- 湿った空気中では [717]粗い [718]赤錆を生成

酸化鉄（III）	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	[719]赤褐色	[720]常磁性
四酸化三鉄	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	[721]黒色	[722]強磁性
酸化鉄（II）	FeO	[723]黒色	[724]発火性

軟鋼	[725]鉄鋼	[726]銑鉄	[727]ステンレス鋼	KS 磁石鋼
C0.2% 未満	C2% 未満	C2% 以上	[728]Cr, Ni	Co, W, Cr
加工しやすい	硬くて弾性あり	硬くてもろい	錆びにくい	
鉄筋・鉄骨	レール・バネ	鋳物	キッチン	人工永久磁石

\*5 [例]VsO<sub>5</sub>, MnO<sub>2</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Pt

## 15.1.2 製法

鉄の製錬 工業的製法

## 15.1.3 反応

- 塩酸との反応  

$$\text{Fe} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{FeCl}_2 + \text{H}_2 \uparrow$$
- 高温の水蒸気との反応  

$$3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2 \uparrow$$
- 微量に含まれる炭素・鉄・水による751 局部電池（752 食塩などが溶けていたら反応速度上昇）
 

正極（753 C）  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \longrightarrow 4\text{OH}^-$   
 負極（754 Fe）  $\text{Fe} \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$
- 755 水酸化鉄（Ⅱ）の生成  

$$\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- \longrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 \quad (\text{756 緑色})$$
- 速やかに757 水酸化鉄（Ⅱ）が酸素により酸化  

$$4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3$$
- 758 水酸化鉄（Ⅲ）の脱水  

$$\text{Fe}(\text{OH})_3 \longrightarrow \text{FeO}(\text{OH}) + \text{H}_2\text{O} \quad (\text{酸化水酸化鉄（Ⅲ）濃橙色})$$

$$2\text{Fe}(\text{OH})_3 \longrightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O} + (3-n)\text{H}_2\text{O} \quad (\text{759 赤褐色})$$
 （エバンスの実験）

## 15.2 硫酸鉄（Ⅱ）7水和物

化学式：760  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 

## 15.2.1 性質

- 761 青緑色の固体
- $\text{Fe}^{2+}$  半反応式  

$$\text{Fe}^{2+} \longrightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$$
- 空気中で表面が762  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ （763 黄褐色）

## 15.2.2 製法

鉄に〔764〕希硫酸を加えて、蒸発濃縮



## 15.3 塩化鉄（Ⅲ）6水和物

化学式：〔765〕 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

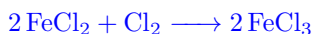
## 15.3.1 性質

- 〔766〕黄褐色で〔767〕潮解性のある固体
- 〔768〕酸性  

$$\left( \text{〔769〕Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})^{2+} + \text{H}^+ \quad K_1 = 6.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \right)$$

## 15.3.2 製法

鉄に希塩酸を加えてから、塩素を通じる。



## 15.4 鉄イオンの反応

	NaOH	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$\text{H}_2\text{S}$ （酸性）	KSCN
$\text{Fe}^{2+}$ 〔773〕淡緑色	〔770〕 $\text{Fe}(\text{OH})_2 \downarrow$ 〔774〕緑白色	$\text{Fe}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6] \downarrow$ 〔775〕青白色	$\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6] \downarrow$ 〔776〕濃青色	〔771〕変化なし 〔777〕淡緑色	〔772〕変化なし 〔778〕淡緑色
$\text{Fe}^{3+}$ 〔781〕黄褐色	〔779〕 $\text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow$ 〔782〕赤褐色	$\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6] \downarrow$ 〔783〕濃青色	$\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]\text{aq}$ 〔784〕暗褐色	〔780〕 $\text{Fe}^{2+}\text{aq}$ 〔785〕淡緑色	$[\text{Fe}(\text{NCS})]^{2+}$ 〔786〕血赤色

- $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  は、〔787〕 $\text{OH}^-$  と〔788〕 $\text{NH}_3$  とともに錯イオンを形成しない
- ベルリンブルーとターンプルブルーは〔789〕同一物質

## 15.5 塩化コバルト（Ⅱ）

化学式：〔790〕 $\text{CoCl}_2$

## 15.5.1 性質

- 〔791〕青色で〔792〕潮解性のある固体
- 6水和物は〔793〕淡赤色
- 塩化コバルト紙を用いた〔794〕水の検出
- $\text{CO}^{3+}$  は〔795〕 $\text{NH}_3$  と錯イオンを形成

## 15.6 硫酸ニッケル（Ⅱ）

化学式：〔796〕 $\text{NiSO}_4$

- 黄緑色で潮解性のある固体
- 6水和物は青緑色
- $\text{Ni}^{2+}$  は〔797〕 $\text{NH}_3$  と錯イオンを形成



## 16 銅

### 16.1 銅

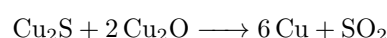
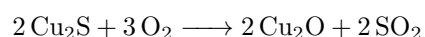
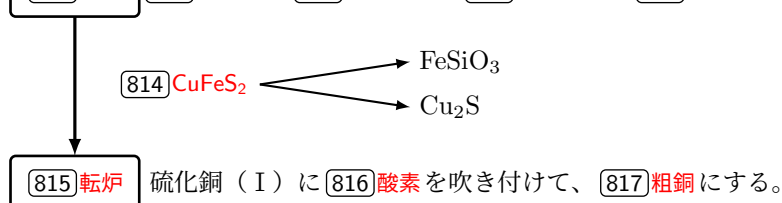
#### 16.1.1 性質

- (798)赤色の金属光沢
- 他の金属とさまざまな色の (799)合金
- 展性・延性が(800)大きく、電気・熱伝導性が(801)高い
- イオン化傾向が水素より(802)低く、酸化力のある酸と反応
- 空气中で徐々に酸化して、緻密な錆（(803)酸に溶解）が生成  
(804)赤色の酸化銅（I）(乾)・(805)青緑の錆（(806)緑青）(湿)

#### 16.1.2 製法

銅の製錬 (粗銅)・(807)電解精錬 (純銅) (工業的製法)

(808)高炉 (809)黄銅鉱 ((810) $\text{CuFeS}_2$ )・(811)コークス・(812)石灰石・(813)ケイ砂を高温で反応



#### 16.1.3 反応

- 銅と希硝酸  
 $3\text{Cu} + 8\text{HNO}_3 \longrightarrow 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{NO} \uparrow$
- 銅と濃硝酸  
 $\text{Cu} + 4\text{HNO}_3 \longrightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NO}_2 \uparrow$
- 銅と熱濃硫酸  
 $\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 \uparrow$
- 空气中で  $1000^\circ\text{C}$  未満で加熱して、(818)黒色の(819)酸化銅（II）生成  
 $2\text{Cu} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{CuO}$
- さらに  $1000^\circ\text{C}$  以上で加熱して、(820)赤色の(821)酸化銅（I）生成  
 $4\text{CuO} \longrightarrow 2\text{Cu}_2\text{O} + \text{O}_2$
- 銅イオンから水酸化銅（II）の生成  
 $\text{Cu}_2^{2+} + 2\text{OH}^- \longrightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow$
- 水酸化銅（II）とアンモニアの反応  
 $\text{Cu}(\text{OH})_2 + 4\text{NH}_3 \longrightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2\text{OH}^-$
- 水酸化銅（II）の加熱  
 $\text{Cu}(\text{OH})_2 \longrightarrow \text{CuO} + \text{H}_2\text{O}$

## 16.2 硫酸銅（Ⅱ）5水和物

### 16.2.1 性質

- (822)青色の固体（結晶中の(823) $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ の色）
- 温度による物質変化  

$$\begin{array}{ccccccc} \text{5水和物} & \xrightarrow{102^\circ\text{C}} & \text{(824)3水和物} & \xrightarrow{113^\circ\text{C}} & \text{(825)1水和物} & \xrightarrow{150^\circ\text{C}} & \text{(826)無水和物} \xrightarrow{650^\circ\text{C}} \text{(827)酸化銅(Ⅱ)} \\ \text{(828)青色} & \longleftarrow & & & & & \text{(829)白色} \\ & & & & & & + \text{H}_2\text{O (検出)} \end{array}$$
- $\text{Cu}^{2+}$  による(830)殺菌作用（農薬）
- 還元性を持つ有機化合物の検出\*6  
 (831)赤色の酸化銅（Ⅰ）が生成

### 16.2.2 製法

銅に(832)濃硫酸をかけてから(833)加熱。

### 16.2.3 反応

## 16.3 銅（Ⅱ）イオンの反応

	少々の塩基	過剰の $\text{NH}_3$	濃塩酸	$\text{H}_2\text{S}$ ((834)全液性)
$\text{Cu}^{2+}$	(835) $\text{Ca}(\text{OH})_2 \downarrow$	(836) $[\text{Ca}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \text{ aq}$	(837) $[\text{CuCl}_4]^{2-} \text{ aq}$	(838) $\text{CuS} \downarrow$
(839)青色	(840)青白色	(841)深青色	(842)黄緑色	(843)黒色

- 炎色反応：(844)青緑色
- 加熱すると(845)分解
- $\text{Cu}^{2+}$  は(846) $\text{NH}_3$ と錯イオンを形成し、(847) $\text{OH}^-$ とは形成しない

## 16.4 銅の合金

(848)黄銅（真鍮）	(849)洋銀（洋白）	(850)白銅	(851)青銅	(852)ジュラルミン
(853) $\text{Zn}$	(854) $\text{Zn, Ni}$	(855) $\text{Ni}$	(856) $\text{Sn}$	(857) $\text{Al}$ （主成分）
適度な強度と加工性 楽器・水道用具	柔軟で錆びにくい 食器・装飾品	柔軟で錆びにくい 五十円玉・五百円玉	硬くて錆びにくい 像	軽くて丈夫 航空機・車両

## 17 銀

### 17.1 銀

#### 17.1.1 性質

- 展性・延性が(858)大きく、電気・熱伝導性が(859)最も高い
- イオン化傾向が水素より(860)小さい  
 (861)酸化力のある酸（(862)硝酸・(863)熱濃硫酸）と反応
- 空気中で酸化しにくい、(864)硫化水素とは容易に反応

#### 17.1.2 製法

- 銅の電解精錬の(865)陽極泥 [工業的製法](#)

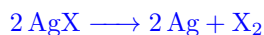
\*6 フェーリング液・ベネディクト液

- 銀の化合物の熱分解・光分解

酸化銀の熱分解



ハロゲン化銀  $\text{AgX}$  の感光



### 17.1.3 反応

- 銀と希硝酸



- 銀と濃硝酸



- 銀と熱濃硫酸



- 銀と硫化水素



## 17.2 銀 (I) イオンの反応

[866] 硝酸銀 水溶液

	少量の塩基	過剰の $\text{NH}_3$	$\text{HCl}$	$\text{H}_2\text{S}$ ([867]全液性)	$\text{K}_2\text{CrO}_4$
$\text{Ag}^{2+}$	[868] $\text{Ag}_2\text{O} \downarrow$	[869] $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$	[870] $\text{AgCl} \downarrow$	[871] $\text{Ag}_2\text{S} \downarrow$	[872] $\text{Ag}_2\text{CrO}_4 \downarrow$
[873] 無色	[874] 褐色	[875] 無色	[876] 白色	[877] 黒色	[878] 赤褐色

- 銀と少量の塩基



- 銀と過剰の  $\text{NH}_3$



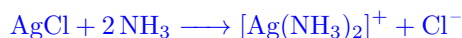
- 銀と  $\text{HCl}$



- 銀と  $\text{H}_2\text{S}$



- 銀と  $\text{K}_2\text{CrO}_4$



### 17.3 難溶性化合物の溶解性

		$\text{HNO}_3$	$\text{NH}_3$	$\text{NaS}_2\text{O}_3$	$\text{KCN}$
$\text{Ag}_2\text{S} \downarrow$	[879] 黒色	[880] 溶ける	[881] 溶けない	[882] 溶けない	[883] 溶ける
$\text{Ag}_2\text{O} \downarrow$	[884] 褐色	[885] 溶ける	[886] 溶ける	[887] 溶ける	[888] 溶ける
$\text{AgCl} \downarrow$	[889] 白色	[890] 溶けない	[891] 溶ける	[892] 溶ける	[893] 溶ける
$\text{AgBr} \downarrow$	[894] 淡黄色	[895] 溶けない	[896] やや溶ける	[897] 溶ける	[898] 溶ける
$\text{AgI} \downarrow$	[899] 黄色	[900] 溶けない	[901] 溶けない	[902] 溶ける	[903] 溶ける
溶解している物質	[904] 無色	[905] $\text{Ag}^+ (\text{AgNO}_3)$	[906] $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$	[907] $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$	[908] $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$

## 18 クロム・マンガン

化学式：(909)Cr・(910)Mn

### 18.1 単体

#### 18.1.1 性質

- (911)強酸と反応 ((912)Crは(913)濃硝酸には(914)不動態となり反応しない)
- 空気中で錆び(915)にくい ((916)不動態) ⇒ (917)ステンレス鋼 (Fe, Cr, Ni) (クロム)  
空気中で錆び(918)やすい (マンガン)
- (919)ニクロム合金 (Fe, Cr, Mn) (電熱線・発熱体)

#### 18.1.2 反応

- クロムと希塩酸  
$$\text{Cr} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{CrCl}_2 + \text{H}_2 \uparrow \quad (\text{Cr}^{2+} : \text{青色})$$
- マンガンと希塩酸  
$$\text{Mn} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{MnCl}_2 + \text{H}_2 \uparrow \quad (\text{Mn}^{2+} : (920)\text{淡桃色})$$

### 18.2 クロム酸カリウム・ニクロム酸カリウム

化学式：(921) $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ・(922) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

#### 18.2.1 性質

- 二つは平衡状態にある  
$$(923)2\text{CrO}_4^{2-} + \text{H}^+ \rightleftharpoons (924)\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{OH}^-$$
  
(925)塩基性・(926)黄色 (927)酸性・(928)赤橙色
- (929)酸化剤として反応 (ニクロム酸カリウム)  
$$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- \longrightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O} \quad ((930)\text{硫酸酸性下})$$

#### 18.2.2 製法

1. クロム(III)イオンに少量の水酸化ナトリウム水溶液を加える  
$$\text{Cr}^{3+} + 3\text{OH}^- \longrightarrow \text{Cr}(\text{OH})_3 \downarrow$$
2. さらに水酸化ナトリウム水溶液を加える (過剰の水酸化ナトリウム水溶液を加える)  
$$\text{Cr}(\text{OH})_3 + \text{OH}^- \longrightarrow [\text{Cr}(\text{OH})_4]^-$$
3. 過酸化水素水を加えて加熱  
$$2[\text{Cr}(\text{OH})_4]^- + 3\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{OH}^- \longrightarrow 2\text{CrO}_4^{2-} + 8\text{H}_2\text{O}$$

#### 18.2.3 反応

- クロム酸イオンと銀イオン  
$$\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{Ag}^+ \longrightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4 \downarrow \quad ((931)\text{赤褐色})$$
- クロム酸イオンと銀イオン  
$$\text{CrO}_4^{2-} + \text{Ba}^{2+} \longrightarrow \text{BaCrO}_4 \downarrow \quad ((932)\text{黄色})$$
- クロム酸イオンと銀イオン  
$$\text{CrO}_4^{2-} + \text{Ag}^{2+} \longrightarrow \text{PbCrO}_4 \quad ((933)\text{黄色})$$

## 18.3 過マンガン酸カリウム

化学式：(934)  $\text{MnO}_2$

### 18.3.1 性質

- (935) 黒紫色の固体
- (936) 酸化剤として反応
  - (937) 硫酸酸性  $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- \longrightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$
  - 中・塩基性  $\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{e}^- \longrightarrow \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$

### 18.3.2 製法

- 酸化マンガン（IV）と水酸化ナトリウムを混ぜて空気中で加熱  
 $2\text{MnO}_2 + 4\text{KOH} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{K}_2\text{MnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{MnO}_2$ : (938) 黒褐色 /  $\text{K}_2\text{MnO}_4$ : (939) 緑色)
- (a) 酸性にする  
 $3\text{MnO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ \longrightarrow 2\text{MnO}_4^- + \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{MnO}_4^{2-}$ : (940) 緑色 /  $\text{MnO}_4^-$ : (941) 赤紫色)
- (b) 電気分解する  
 ((942) 陽極)  $\text{MnO}_4^{2-} \longrightarrow \text{MnO}_4^- + \text{e}^-$

## 18.4 マンガンの安定な酸化数

残留酸素の定量（ウィンクラー法）

- マンガン（III）イオンを含む水溶液に塩基を加える  
 $\text{Mn}^{2+} + 2\text{OH}^- \longrightarrow \text{Mn}(\text{OH})_2 \downarrow$
- 水酸化マンガン（II）が水溶液中の溶存酸素と速やかに反応  
 $2\text{Mn}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{MnO}(\text{OH})_2$
- 希硫酸を加える  
 $\text{MnO}(\text{OH})_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Mn}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$  ((943) 酸化剤)

## 第 IV 部

## APPENDIX

## A 気体の乾燥剤

固体の乾燥剤は①U字管につめて、液体の乾燥剤は②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	③十酸化四リン	④ $\text{P}_4\text{O}_{10}$	酸性・中性	塩基性の気体（⑤ $\text{NH}_3$ ）
	⑥濃硫酸	⑦ $\text{H}_2\text{SO}_4$		+ ⑧ $\text{H}_2\text{S}$ （⑨還元剤）
中性	⑩塩化カルシウム	⑪ $\text{CaCl}_2$	ほとんど全て	⑫ $\text{NH}_3$
	⑬シリカゲル	⑭ $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$		特になし
塩基性	⑮酸化カルシウム	⑯ $\text{CaO}$	中性・塩基性	酸性の気体
	⑰ソーダ石灰	⑱ $\text{CaO}$ と $\text{NaOH}$		⑲ $\text{Cl}_2$ , ⑳ $\text{HCl}$ , ㉑ $\text{H}_2\text{S}$ , ㉒ $\text{SO}_2$ , ㉓ $\text{CO}_2$ , ㉔ $\text{NO}_2$

## B 水の硬度

水の中の重荷  $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{Mg}^{2+}$  を  $\text{CaCO}_3$  として換算した時の濃度 [mg/L]

硬水に含まれる陰イオンが

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{煮沸する ㉕炭酸塩が沈澱して軟化可能（一時硬水）} \\ \left( \begin{array}{l} \text{㉖炭酸水素カルシウム水溶液} \\ \text{Ca(HCO}_3\text{)}_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3\downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \\ \text{㉗炭酸水素マグネシウム水溶液} \\ \text{Mg(HCO}_3\text{)}_2 \longrightarrow \text{MgCO}_3\downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \end{array} \right) \\ \text{煮沸しても軟化不可能（永久硬水）} \end{array} \right.$$

## C 金属イオンの難溶性化合物

	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S	OH <sup>-</sup>	OH <sup>-</sup>	NH <sub>3</sub>
			酸性	中・塩基性	NH <sub>3</sub>	過剰	過剰
K <sup>+</sup>	<u>26</u> — <u>33</u> —色	<u>27</u> — <u>34</u> —色	<u>28</u> — <u>35</u> —色	<u>29</u> — <u>36</u> —色	<u>30</u> — <u>37</u> —色	<u>31</u> — <u>38</u> —色	<u>32</u> — <u>39</u> —色
Ba <sup>2+</sup>	<u>40</u> — <u>47</u> —色	<u>41</u> BaSO <sub>4</sub> <u>48</u> 白色	<u>42</u> — <u>49</u> —色	<u>43</u> — <u>50</u> —色	<u>44</u> — <u>51</u> —色	<u>45</u> — <u>52</u> —色	<u>46</u> — <u>53</u> —色
Sr <sup>2+</sup>	<u>54</u> — <u>61</u> —色	<u>55</u> SrSO <sub>4</sub> <u>62</u> 白色	<u>56</u> — <u>63</u> —色	<u>57</u> — <u>64</u> —色	<u>58</u> — <u>65</u> —色	<u>59</u> — <u>66</u> —色	<u>60</u> — <u>67</u> —色
Ca <sup>2+</sup>	<u>68</u> — <u>75</u> —色	<u>69</u> CaSO <sub>4</sub> <u>76</u> 白色	<u>70</u> — <u>77</u> —色	<u>71</u> — <u>78</u> —色	<u>72</u> Ca(OH) <sub>2</sub> <u>79</u> 白色	<u>73</u> Ca(OH) <sub>2</sub> <u>80</u> 白色	<u>74</u> Ca(OH) <sub>2</sub> <u>81</u> 白色
Na <sup>+</sup>	<u>82</u> — <u>89</u> —色	<u>83</u> — <u>90</u> —色	<u>84</u> — <u>91</u> —色	<u>85</u> — <u>92</u> —色	<u>86</u> — <u>93</u> —色	<u>87</u> — <u>94</u> —色	<u>88</u> — <u>95</u> —色
Mg <sup>2+</sup>	<u>96</u> — <u>103</u> —色	<u>97</u> — <u>104</u> —色	<u>98</u> — <u>105</u> —色	<u>99</u> — <u>106</u> —色	<u>100</u> Mg(OH) <sub>2</sub> <u>107</u> 白色	<u>101</u> Mg(OH) <sub>2</sub> <u>108</u> 白色	<u>102</u> — <u>109</u> —色
Al <sup>3+</sup>	<u>110</u> — <u>117</u> —色	<u>111</u> — <u>118</u> —色	<u>112</u> — <u>119</u> —色	<u>113</u> Al(OH) <sub>3</sub> <u>120</u> 白色	<u>114</u> Al(OH) <sub>3</sub> <u>121</u> 白色	<u>115</u> [Al(OH) <sub>4</sub> ] <sup>-</sup> <u>122</u> 白色	<u>116</u> Al(OH) <sub>3</sub> <u>123</u> 白色
Mn <sup>2+</sup>	<u>124</u> — <u>131</u> —色	<u>125</u> — <u>132</u> —色	<u>126</u> — <u>133</u> —色	<u>127</u> MnS <u>134</u> 淡桃色	<u>128</u> Mn(OH) <sub>2</sub> <u>135</u> 白色	<u>129</u> Mn(OH) <sub>2</sub> <u>136</u> 白色	<u>130</u> Mn(OH) <sub>2</sub> <u>137</u> 白色
Zn <sup>2+</sup>	<u>138</u> — <u>145</u> —色	<u>139</u> — <u>146</u> —色	<u>140</u> — <u>147</u> —色	<u>141</u> ZnS <u>148</u> 白色	<u>142</u> Zn(OH) <sub>2</sub> <u>149</u> 白色	<u>143</u> [Zn(OH) <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup> <u>150</u> 無色	<u>144</u> [Zn(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> ] <sup>2+</sup> <u>151</u> 無色
Cr <sup>3+</sup>	<u>152</u> — <u>159</u> —色	<u>153</u> — <u>160</u> —色	<u>154</u> — <u>161</u> —色	<u>155</u> — <u>162</u> —色	<u>156</u> Cr(OH) <sub>3</sub> <u>163</u> 灰緑色	<u>157</u> [Cr(OH) <sub>4</sub> ] <sup>-</sup> <u>164</u> 緑色	<u>158</u> Cr(OH) <sub>3</sub> <u>165</u> 灰緑色
Fe <sup>2+</sup>	<u>166</u> — <u>173</u> —色	<u>167</u> — <u>174</u> —色	<u>168</u> — <u>175</u> —色	<u>169</u> FeS <u>176</u> 黒色	<u>170</u> Fe(OH) <sub>2</sub> <u>177</u> 緑白色	<u>171</u> Fe(OH) <sub>2</sub> <u>178</u> 緑白色	<u>172</u> Fe(OH) <sub>2</sub> <u>179</u> 緑白色
Fe <sup>3+</sup>	<u>180</u> — <u>187</u> —色	<u>181</u> — <u>188</u> —色	<u>182</u> Fe <sup>2+</sup> <u>189</u> 淡緑色	<u>183</u> FeS <u>190</u> 黒色	<u>184</u> Fe(OH) <sub>3</sub> <u>191</u> 赤褐色	<u>185</u> Fe(OH) <sub>3</sub> <u>192</u> 赤褐色	<u>186</u> Fe(OH) <sub>3</sub> <u>193</u> 赤褐色
Cd <sup>2+</sup>	<u>194</u> — <u>201</u> —色	<u>195</u> — <u>202</u> —色	<u>196</u> CdS <u>203</u> 黄色	<u>197</u> CdS <u>204</u> 黄色	<u>198</u> Cd(OH) <sub>2</sub> <u>205</u> 白色	<u>199</u> Cd(OH) <sub>2</sub> <u>206</u> 白色	<u>200</u> [Cd(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup> <u>207</u> 無色
Co <sup>2+</sup>	<u>208</u> — <u>215</u> —色	<u>209</u> — <u>216</u> —色	<u>210</u> CoS <u>217</u> 黒色	<u>211</u> Co(OH) <sub>2</sub> <u>218</u> 青色	<u>212</u> Co(OH) <sub>2</sub> <u>219</u> 青色	<u>213</u> Co(OH) <sub>2</sub> <u>220</u> 青色	<u>214</u> Co(OH) <sub>2</sub> <u>221</u> 青色
Ni <sup>2+</sup>	<u>222</u> — <u>229</u> —色	<u>223</u> — <u>230</u> —色	<u>224</u> NiS <u>231</u> 黒色	<u>225</u> Ni(OH) <sub>2</sub> <u>232</u> 緑白色	<u>226</u> Ni(OH) <sub>2</sub> <u>233</u> 緑白色	<u>227</u> Ni(OH) <sub>2</sub> <u>234</u> 緑白色	<u>228</u> [Ni(NH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> ] <sup>2+</sup> <u>235</u> 青紫色
Sn <sup>2+</sup>	<u>236</u> — <u>243</u> —色	<u>237</u> — <u>244</u> —色	<u>238</u> SnS <u>245</u> 褐色	<u>239</u> SnS <u>246</u> 褐色	<u>240</u> Sn(OH) <sub>2</sub> <u>247</u> 白色	<u>241</u> [Sn(OH) <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup> <u>248</u> 白色	<u>242</u> Sn(OH) <sub>2</sub> <u>249</u> 白色
Pb <sup>2+</sup>	<u>250</u> PbCl <u>257</u> 白色	<u>251</u> PbSO <sub>4</sub> <u>258</u> 白色	<u>252</u> PbS <u>259</u> 黒色	<u>253</u> PbS <u>260</u> 黒色	<u>254</u> Pb(OH) <sub>2</sub> <u>261</u> 白色	<u>255</u> [Pb(OH) <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup> <u>262</u> 無色	<u>256</u> Pb(OH) <sub>2</sub> <u>263</u> 白色
Cu <sup>2+</sup>	<u>264</u> — <u>271</u> —色	<u>265</u> — <u>272</u> —色	<u>266</u> CuS <u>273</u> 白色	<u>267</u> CuS <u>274</u> 白色	<u>268</u> Cu(OH) <sub>2</sub> <u>275</u> 青白色	<u>269</u> Cu(OH) <sub>2</sub> <u>276</u> 青白色	<u>270</u> [Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> ] <sup>2+</sup> <u>277</u> 深青色
Hg <sup>2+</sup>	<u>278</u> — <u>285</u> —色	<u>279</u> — <u>286</u> —色	<u>280</u> HgS <u>287</u> 黒色	<u>281</u> HgS <u>288</u> 黒色	<u>282</u> HgO <u>289</u> 黄色	<u>283</u> HgO <u>290</u> 黄色	<u>284</u> HgO <u>291</u> 黄色
Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	<u>292</u> Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> <u>299</u> 白色	<u>293</u> — <u>300</u> —色	<u>294</u> HgS <u>301</u> 黒色	<u>295</u> HgS <u>302</u> 黒色	<u>296</u> HgO <u>303</u> 黄色	<u>297</u> HgO <u>304</u> 黄色	<u>298</u> HgO <u>305</u> 黄色
Ag <sup>+</sup>	<u>306</u> AgCl	<u>307</u> —	<u>308</u> Ag <sub>2</sub> S	<u>309</u> Ag <sub>2</sub> S	<u>310</u> Ag <sub>2</sub> O	<u>311</u> Ag <sub>2</sub> O	<u>312</u> [Ag(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ] <sup>+</sup>

	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{OH}^-$	$\text{OH}^-$	$\text{NH}_3$
			酸性	中・塩基性	$\text{NH}_3$	過剰	過剰
	(313) 白色	(314) 一色	(315) 黒色	(316) 黒色	(317) 褐色	(318) 褐色	(319) 無色

## D 錯イオンの命名法

(主に遷移) 金属イオンに対して、(320) 非共有電子対を持つ (321) 分子や (322) イオンが (323) 配位結合

「(配位子の数(数詞)) (配位子) (金属(価数)) (酸(陰イオンの場合)) イオン」

金属イオン	$\text{Ag}^+$ $\text{Cu}^+$	$\text{Cu}^{2+}$ $\text{Zn}^{2+}$	$\text{Fe}^{2+}$ $\text{Fe}^{3+}$ $\text{Co}^{3+}$ $\text{Ni}^{2+}$ $\text{Cr}^{3+}$ $\text{Al}^{3+}$
配位数	(324) 2	(325) 4	(326) 6

(327) 直線系

(328) 正方形

(329) 正四面体形

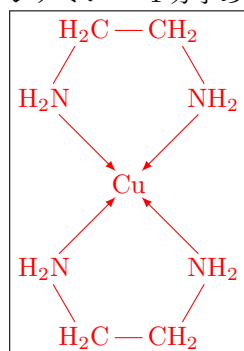
(330) 正八面体形

数	1	2	3	4	5	6	7	8
数詞	(331) モノ	(332) ジ (339) ビス	(333) トリ (340) トリス	(334) テトラ	(335) ペンタ	(336) ヘキサ	(337) ヘプタ	(338) オクタ

配位子	$\text{NH}_3$	$\text{CN}^-$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{OH}^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{NH}_2$
名称	(341) アンミン	(342) シアニド	(343) アクア	(344) ヒドロキシド	(345) クロリド	(346) エチレンジアミン

エチレン

ジアミン…1 分子あたり 2 か所で (347) 配位結合する (2 座配位子) ((348) キレート錯体)



- $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$   
(349) テトラヒドロキシド亜鉛(II) 酸イオン
- $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$   
(350) テトラアンミン亜鉛(II) イオン
- $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$   
(351) ビス(チオスルファート) 銀(I) イオン
- $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2)]^{2+}$   
(352) ビス(エチレンジアミン) 銅(II) イオン



## E 金属イオンの系統分離

