

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） 13
- 6.4 一酸化窒素 13

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 16
- 8.3 二酸化炭素 16

9 ケイ素 17

- 9.1 ケイ素 17
- 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） 20
- 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） 22
- 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 23
- 11.7 硫酸バリウム 23

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 26
- 13.3 ミョウバン・焼きミョウバン 26

14 スズ・鉛 27

- 14.1 単体 27
- 14.2 塩化スズ（Ⅱ） 27

14.3	酸化鉛 (IV)	28
14.4	鉛の難溶性化合物	28
第 III 部 遷移金属		29
15	鉄・コバルト・ニッケル	29
15.1	鉄	29
15.2	硫酸鉄 (II) 7 水和物	30
15.3	塩化鉄 (III) 6 水和物	31
15.4	鉄イオンの反応	31
15.5	塩化コバルト (II)	31
15.6	硫酸ニッケル (II)	31
16	銅	32
16.1	銅	32
16.2	硫酸銅 (II) 5 水和物	32
16.3	銅 (II) イオンの反応	33
16.4	銅の合金	33
17	銀	34
17.1	銀	34
17.2	銀 (I) イオンの反応	34
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	36
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

^1H 99% 以上 ^2H (⑥D) 0.015% ^3H (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 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)
 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$
- 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}K の電子捕獲



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	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	③⑩特異臭	③⑪刺激臭	揮発性	③⑫昇華性
H ₂ との反応	③⑬冷暗所でも爆発的に反応	③⑭常温でも③⑮光で爆発的に反応	③⑯加熱して③⑰触媒により反応	高温で平衡状態 ③⑱加熱して③⑲触媒により一部反応
水との反応	水を酸化して酸素と ④⑰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 ④④Klaq には可溶
用途	保存が困難 Kr や Xe と反応	④⑤ClO ⁻ 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 KHF₂ のフッ化水素 HF 溶液の電気分解 **工業的製法**
KHF₂ → KF + 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 NaCl + 2 H₂O → Cl₂ + H₂ + 2 NaOH
- ⑤⑩酸化マンガン (IV) に⑤⑪濃塩酸を加えて加熱 **塩素**
MnO₂ + 4 HCl $\xrightarrow{\Delta}$ MnCl₂ + Cl₂ ↑ + 2 H₂O
- ⑤⑫高度さらし粉と⑤⑬塩酸 **塩素**
Ca(ClO)₂ · 2 H₂O + 4 HCl → CaCl₂ + 2 Cl₂ ↑ + 4 H₂O
- ⑤⑭さらし粉と⑤⑮塩酸 **塩素**
CaCl(ClO) · H₂O + 2 HCl → CaCl₂ + Cl₂ ↑ + 2 H₂O
- 臭化マグネシウムと塩素 **臭素**
MgBr₂ + Cl₂ → MgCl₂ + Br₂
- ヨウ化カリウムと塩素 **ヨウ素**
2 KI + Cl₂ → 2 KCl + I₂

3.1.3 反応

- フッ素と水素
H₂ + F₂ $\xrightarrow{\text{常温で爆発的に反応}}$ 2 HF
- 塩素と水素
H₂ + Cl₂ $\xrightarrow{\text{光を当てると爆発的に反応}}$ 2 HCl
- 臭素と水素
H₂ + Br₂ $\xrightarrow{\text{高温で反応}}$ 2 HBr
- ヨウ素と水素
H₂ + I₂ $\xrightleftharpoons{\text{高温で平衡}}$ 2 HI
- フッ素と水
2 F₂ + 2 H₂O → 4 HF + O₂
- 塩素と水
Cl₂ + H₂O \rightleftharpoons HCl + HClO
- 臭素と水
Br₂ + H₂O \rightleftharpoons HBr + 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
I₂ + I⁻ → I₃⁻

3.1.4 塩素発生実験の装置



$\text{Cl}_2, \text{HCl}, \text{H}_2\text{O}$

↓ 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_2O の除去)

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_4 ⑥⑩ 過塩素酸	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}-\text{O}-\text{Cl}-\text{O} \\ \\ \text{O} \end{array}$
+ V	⑥① HClO_3 ⑥② 塩素酸	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}-\text{O}-\text{Cl}-\text{O} \end{array}$
+ III	⑥③ HClO_2 ⑥④ 亜塩素酸	$\text{H}-\text{O}-\text{Cl}-\text{O}$
+ I	⑥⑤ HClO ⑥⑥ 次亜塩素酸	$\text{H}-\text{O}-\text{Cl}$

3.2 ハロゲン化水素

3.2.1 性質

化学式	HF	HCl	HBr	HI
色・臭い		⑥⑦ 無色 ⑥⑧ 刺激臭		
沸点	20°C	-85°C	-67°C	-35°C
水との反応	⑥⑨ よく溶ける			
水溶液 (強弱)	⑦⑩ フッ化水素酸 ⑦⑪ 塩酸 ⑦⑫ 臭化水素酸 ⑦⑬ ヨウ化水素酸 ⑦⑭ 弱酸 << ⑦⑮ 強酸 < ⑦⑯ 強酸 < ⑦⑰ 強酸			
用途	⑦⑱ ガラスと反応 ⇒ ポリエチレン瓶	⑦⑲ 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

- ⑧⑩ 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⑧⑩ 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 (→⑨⑧Ag)		

3.3.2 製法

- 酸化銀 (I) にフッ化水素酸を加えて蒸発圧縮

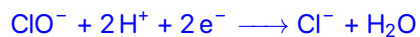
$$\text{Ag}_2\text{O} + 2\text{HF} \longrightarrow 2\text{AgF} + \text{H}_2\text{O}$$
- ハロゲン化水素イオンを含む水溶液と⑨⑨硝酸銀水溶液

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

3.4 次亜塩素酸塩

3.4.1 性質

⑩⑩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

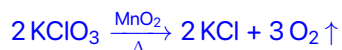
$$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{CaCl}(\text{ClO}) \cdot \text{H}_2\text{O}$$

3.5 塩素酸カリウム

化学式：⑩③KClO₃

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 (O_2), ¹⁰⁷オゾン (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： O_2

4.2.1 性質

- ¹²¹無色¹²²無臭の¹²³気体
- 沸点 -183°C

4.2.2 製法

- ¹²⁴液体空気 の分留 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



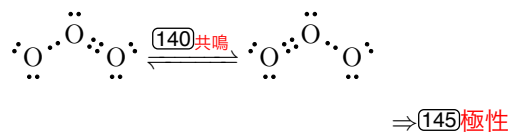
4.3 オゾン

化学式：¹³² 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

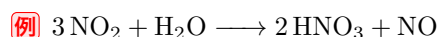
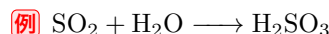
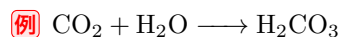
$$\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
- 湿らせた¹⁴⁹ヨウ化カリウムでんぶん紙を¹⁵⁰青色に変色

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

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)*1



4.4.1 反応

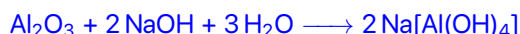
- 酸化銅 (II) と塩化水素



- 酸化アルミニウムと硫酸



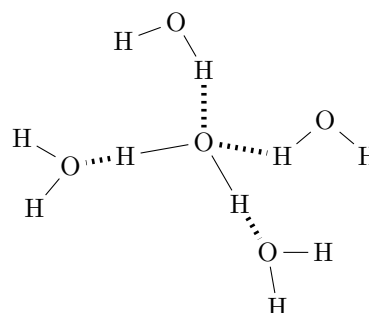
- 酸化アルミニウムと水酸化ナトリウム水溶液



4.5 水

4.5.1 性質

- (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

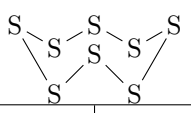
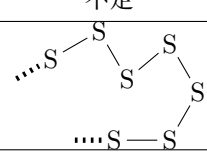


*1 覚え方: ああすんなり

5 硫黄

5.1 硫黄

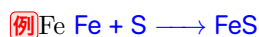
5.1.1 性質

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 ₂ との反応	(187)溶ける	(188)溶ける	(189)溶けない

CS₂… 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



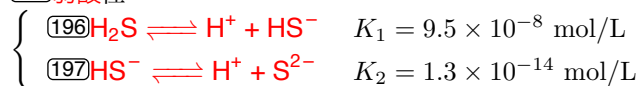
5.2 硫化水素

化学式: (192) H_2S

5.2.1 性質

- (193)無色 (194)腐卵臭

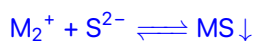
- (195)弱酸性



- (198)還元剤としての反応



- 重金属イオン M^{2+} と (199)難溶性の塩を生成



5.2.2 製法

- 硫化鉄 (II) と希塩酸



- 硫化鉄 (II) と希硫酸



5.2.3 反応


- 硫化水素とヨウ素



- 酢酸鉛 (II) 水溶液と硫化水素 ((200) H_2S の検出)



5.3 二酸化硫黄（亜硫酸ガス）

化学式：②01 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

$$\text{②07SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HSO}_3^- \quad K_1 = 1.4 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$
- 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 H_2S 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) H_3O^+ 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 と難容性の塩を生成 **希硫酸**

5.4.2 製法

(237)接触法 **工業的製法**

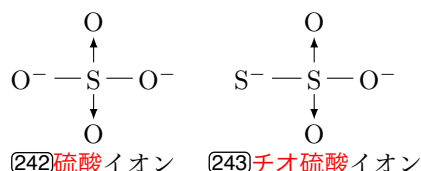
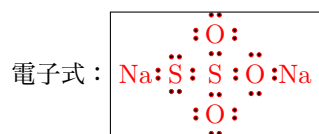
1. 黄鉄鉱 FeS_2 の燃焼
 $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$
($\text{S} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{SO}_2$)
2. (238)酸化バナジウム触媒で酸化
 $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{V}_2\text{O}_5} 2\text{SO}_3$
3. (239)濃硫酸に吸収させて(240)発煙硫酸とした後、希硫酸を加えて希釈
 $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$

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）

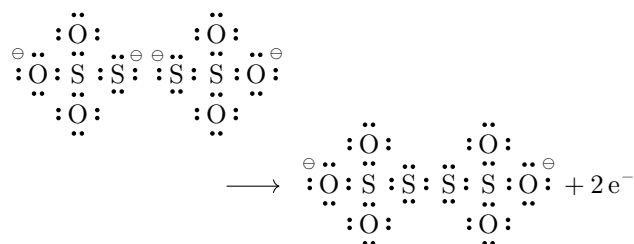
化学式：(241) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$



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）



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
(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						(257)高			
(258)極小						(259)小			

イオン化傾向

塩の溶解度積 (K_{sp})

6 窒素

6.1 窒素

化学式：N₂

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

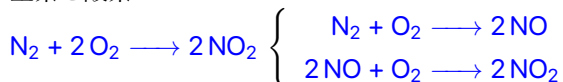
6.1.2 製法

- (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



6.1.3 反応

- 窒素と酸素



- 窒素とマグネシウム



6.2 アンモニア

化学式：(272)NH₃

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



$$K_1 = 1.7 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

- (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)Fe₃O₄) 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）

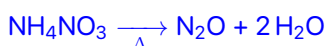
化学式：②90N₂O

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



6.4 一酸化窒素

化学式：②93NO

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

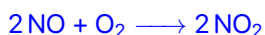
6.4.2 製法

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：③00NO₂

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：③11HNO₃

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

$$\text{③18HNO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{NO}_3^- \quad K_1 = 6.3 \times 10^1 \text{mol/L}$$
- ・ 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
- ・ ③23Al, ③24Cr, ③25Fe, ③26Co, ③27Ni は③28酸化皮膜が生じて不溶 濃硝酸

$$= \text{③29不動態}$$
- ・ ③30王水（③31濃塩酸:③32濃硝酸=3:1）は、Pt, Au も溶解
- ・ NO₃⁻ は③33沈殿を作らない ⇒ ③34褐輪反応で検出

6.6.2 製法

- ・ ③35オストワルト法

$$\text{NH}_3 + 2\text{O}_2 \longrightarrow \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$$
 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

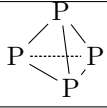
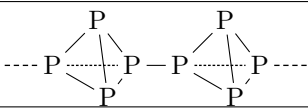
$$\text{Ag} + 2\text{HNO}_3 \longrightarrow \text{AgNO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{NO}_2 \uparrow$$

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マッチの側薬	-
密度	1.8g/cm ³	2.16g/cm ³	2.7g/cm ³
毒性	③50猛毒	③51微毒	③52微毒
構造			略
CS ₂ 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、 1.2×10^9 Pa で加熱 黒リン

7.2 十酸化四リン

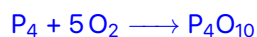
化学式：③56 P_4O_{10}

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
- $$\text{③63 } H_3PO_4 \rightleftharpoons H^+ + H_2PO_4^- \quad K_1 = 7.5 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

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

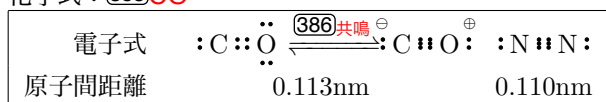
用途 水素吸蔵・電池電極への応用

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 ダイヤモンド	³⁷⁰ 黒鉛
特徴	³⁷¹ 無色 ³⁷² 透明で屈折率が高い固体	³⁷³ 黒色で ³⁷⁴ 光沢がある固体
密度	3.5g/cm ³	2.3g/cm ³
構造	³⁷⁵ 正四面体方向の ³⁷⁶ 共有結合結晶	³⁷⁷ ズレた層状構造 (³⁷⁸ ファンデルワールス力)
硬さ	³⁷⁹ 非常に硬い	³⁸⁰ 軟らかい
沸点	³⁸¹ 高い	³⁸² 高い
電気伝導性	³⁸³ なし	³⁸⁴ あり
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：③⑧⑤CO



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③⑨⑦Fe²⁺ に対して強い③⑨⑧酸化結合
- ③⑨⑨中性で水に溶け④④①にくい。(④④①水上置換)
- ④④②可燃性、高温で④④③還元性 (④④④鉄との親和性が非常に高い)

8.2.2 製法

- ④④⑤赤熱したコークスに④④⑥水蒸気を吹き付ける
工業的製法
 $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CO} + \text{H}_2$
- 炭素の④④⑦不完全燃焼
 $2\text{C} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{CO}$
- ④④⑧ギ酸に④④⑨濃硫酸を加えて加熱
 $\text{HCOOH} \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4} \text{CO} \uparrow + \text{H}_2\text{O}$
- ④④⑩シュウ酸に④④⑪濃硫酸を加えて加熱
 $(\text{COOH})_2 \longrightarrow \text{CO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

8.2.3 反応

- 燃焼
 $\text{CO} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{CO}_2$
- 鉄の精錬
 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \longrightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} \longrightarrow 2\text{FeO} + \text{CO}_2 \\ \text{FeO} + \text{CO} \longrightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2 \times 2 \end{array} \right.$$

8.3 二酸化炭素

8.3.1 性質

- ④④②無色④④③無臭で④④④昇華性 (固体は④④⑤ドライアイス)
- 大気の 0.04% を占める
- 水に④④⑥少し溶ける
- ④④⑦弱酸性
 $\text{④④⑧CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \quad K_1 = 4.3 \times 10^{-7} \text{ mol/}$

8.3.2 製法

- ④④⑨炭酸カルシウムを強熱 工業的製法
 $\text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
- ④④②希塩酸と④④①石灰石
 $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
- ④④②炭酸水素ナトリウムの熱分解
 $2\text{NaHCO}_3 \longrightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

8.3.3 反応

- 二酸化炭素と水酸化ナトリウム
 $\text{CO}_2 + 2\text{NaOH} \longrightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- ④④③石灰水に通じると④④④白濁しさらに通じると④④⑤白濁が消える
 $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$
 $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca(HCO}_3)_2$

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) 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

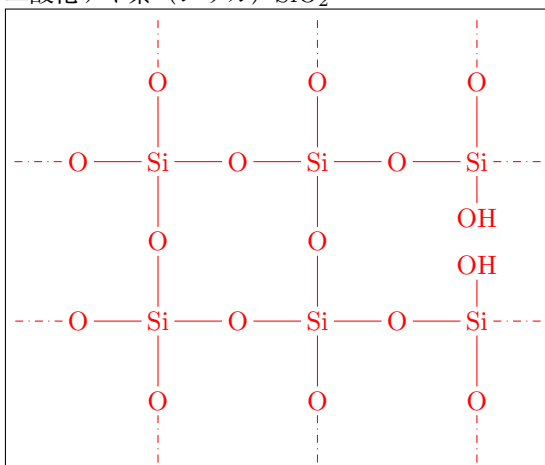
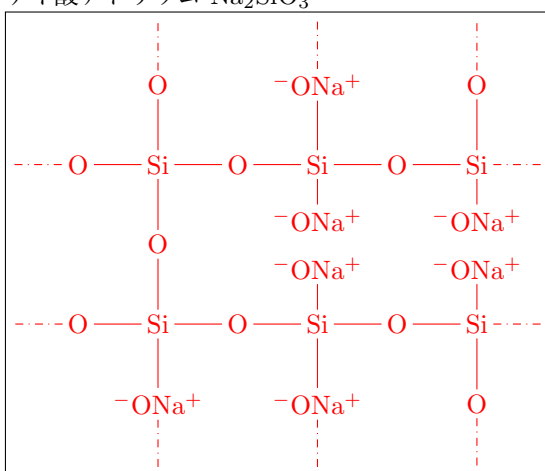
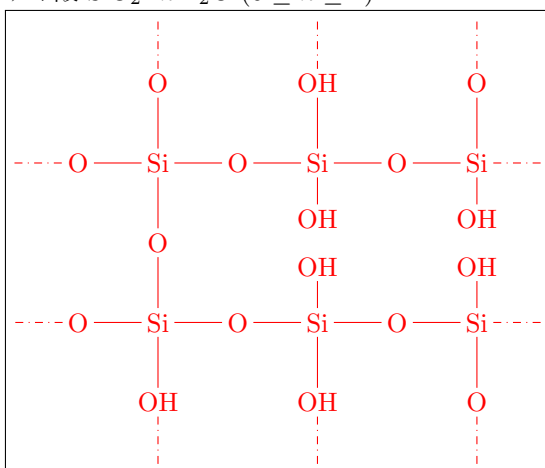
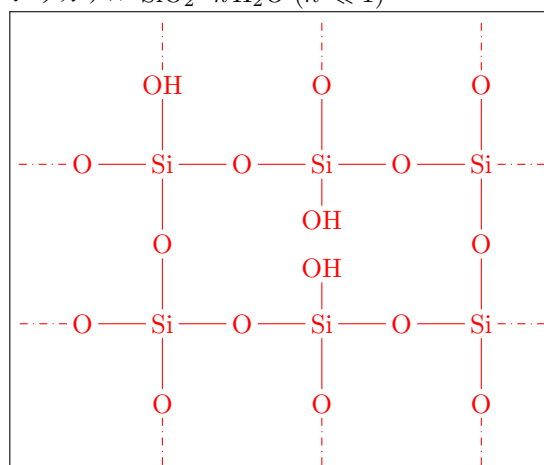
9.2.2 反応

- (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) SiO_2 2. ケイ酸ナトリウム Na_2SiO_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

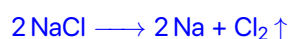


化学式	Li	Na	K	Rb	Cs
融点	181°C	98°C	64°C	39°C	28°C
密度	0.53	0.97	0.86	1.53	1.87
構造	(460)体心立方格子 (461)軽金属)				
イオン化エネルギー	大				小
反応力	小				大
炎色反応	(462)赤色	(463)黄色	(464)赤紫色	(465)深赤色	(466)青紫色
用途	リチウムイオン 電池の負極	トンネル照明 高速増殖炉の冷却材	磁気センサー 肥料 (K ⁺)	光電池 年代測定	光電管 電子時計 (一秒の基準)

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)CaCl₂ 添加 (470)凝固点降下)

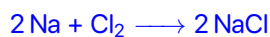


10.1.3 反応

- 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

$$\left((476)\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{OH}^- \quad K_1 = 1.0 \times 10^{-1} \text{mol/L} \right)$$
- 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

$$\left((\text{COOH})_2 + 2 \text{NaOH} \longrightarrow (\text{COONa})_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \right)$$

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

$$\text{HCl} + \text{NaOH} \longrightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$$
- 塩素と水酸化ナトリウム

$$2 \text{NaOH} + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{NaCl} + \text{NaClO} + \text{H}_2\text{O}$$
- 二酸化硫黄と水酸化ナトリウム

$$\text{SO}_2 + 2 \text{NaOH} \longrightarrow \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$$
- 酸化亜鉛と水酸化ナトリウム水溶液

$$\text{ZnO} + 2 \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$$
- 二酸化炭素と水酸化ナトリウム

$$2 \text{NaOH} + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$$

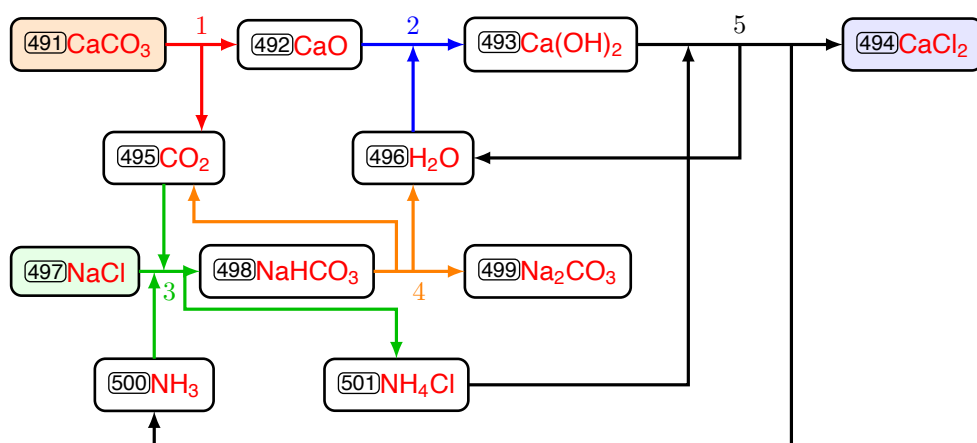
10.3 炭酸ナトリウム・炭酸水素ナトリウム

10.3.1 性質

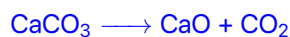
名称	炭酸ナトリウム	炭酸水素ナトリウム
化学式	(481)Na ₂ CO ₃	(482)NaHCO ₃
色	(483)白色	(484)白色
融点	850°C	(485)熱分解
液性	(486)塩基性	(487)弱塩基性
用途	(488)ガラスや石鹼の原料	胃腸薬・ふくらし粉

10.3.2 製法

(489)アンモニアソーダ法 (490)ソルベー法 (工業的製法)



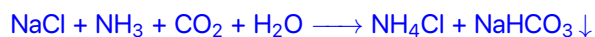
1. (502)炭酸カルシウムの(503)熱分解



2. (504)酸化カルシウムと(505)水



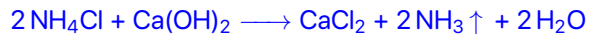
3. (506)塩化ナトリウム水溶液に(507)アンモニアを溶解させてから、(508)二酸化炭素を溶解



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

- Na_2CO_3 (513) $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$ $K_1 = 1.8 \times 10^{-4}$
- 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

⁵¹⁶Be,⁵¹⁷Mg,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/cm³)	1.85	1.74	1.55	2.54	3.59
⁵²⁴ 還元力	小 大				
水との反応	⁵²⁵ 反応しない	⁵²⁶ 熱水	⁵²⁷ 冷水	⁵²⁸ 冷水	⁵²⁹ 冷水
M(OH) ₂ 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 ₃		⁵³⁵ MCO ₃ , MSO ₄		
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）

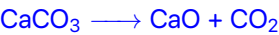
化学式：⁵⁴²CaO

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

11.3 水酸化カルシウム（消石灰）

化学式：⁵⁵⁶Ca(OH)₂

11.3.1 性質

- ⁵⁵⁷白色
- 水に⁵⁵⁸少し溶ける固体
- ⁵⁵⁹強塩基
 $\text{Ca(OH)}_2 \rightleftharpoons \text{Ca(OH)}^+ + \text{OH}^-$
 $K_1 = 5.0 \times 10^{-2}$
- 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
 $\text{Ca(OH)}_2 + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{CaCl(ClO)} \cdot \text{H}_2\text{O}$
- 580°C 以上で⁵⁶⁵熱分解
 $\text{Ca(OH)}_2 \longrightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$
- 二酸化炭素との反応
 $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- 塩化アンモニウムとの反応
 $2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca(OH)}_2 \longrightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{NH}_3 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$

11.4 炭酸カルシウム (石灰石)

化学式：(566)CaCO₃

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)MgCl₂・(574)CaCl₂

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)ソルベー法) (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)CaSO₄

11.6.1 性質

(584)セッコウを約 150°C 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



(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)BaSO₄

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°C	321°C	-39°C
密度	7.1	8.6	13.6
M ²⁺ aq + H ₂ 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	Cd ²⁺ は 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
- HgS は 450°C 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)



12.1.3 反応

- 高温の水蒸気と反応 (亜鉛)
$$\text{Zn} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{ZnO} + \text{H}_2 \uparrow$$
- 塩酸と反応 (亜鉛)
$$\text{Zn} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2 \uparrow$$
- 水酸化ナトリウム水溶液と反応 (亜鉛)
$$\text{Zn} + 2\text{NaOH} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4] + \text{H}_2 \uparrow$$

12.2 酸化亜鉛（亜鉛華）・水酸化亜鉛

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

12.2.1 性質

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

12.2.2 製法

- 亜鉛を燃焼 624 酸化亜鉛 625 工業的製法

$$2\text{Zn} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{ZnO}$$
- 亜鉛イオンを含む水溶液に、少量の ${}^{624}\text{OH}^-$ を加える
 626 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 627 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： ${}^{628}\text{Hg}_2\text{Cl}_2 \cdot {}^{629}\text{HgCl}$

12.3.1 性質

- 白色で、水に溶けにくい固体で、微毒 630 塩化水銀（Ⅰ）
- 白色で、水に少し溶ける固体で、猛毒 631 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



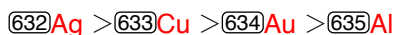
13 アルミニウム

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



- 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
(⁶⁴⁰Al, ⁶⁴¹Cr, ⁶⁴²Fe, ⁶⁴³Co, ⁶⁴⁴Ni^{*4})
電気分解 (⁶⁴⁵陽極) で人工的に厚い酸化被膜をつける
製品加工を⁶⁴⁶アルマイトと呼ぶ
- 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ろ過して、ろ液を水で希釈して
Al(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⁶⁵⁸Al(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
 - ⁶⁵⁹氷晶石
Na₃AlF₆を融解し、酸化アルミニウムを溶解
 - ⁶⁶⁰炭素電極で電気分解
 陽極 $\text{C} + \text{O}^{2-} \longrightarrow \text{CO} + 2\text{e}^-$
 $\text{C} + 2\text{O}^{2-} \longrightarrow \text{CO}_2 + 4\text{e}^-$
 陰極 $\text{Al}_3^+ + 3\text{e}^- \longrightarrow \text{Al}$

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

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

13.2 酸化アルミニウム・水酸化アルミニウム

化学式：⁶⁶¹Al₂O₃・⁶⁶²Al(OH)₃ 酸化アルミニウムの別称：
⁶⁶³アルミナ

13.2.1 性質

- ⁶⁶⁴白色で、水に⁶⁶⁵溶けにくい
- ⁶⁶⁶両性酸化物/水酸化物
⁶⁶⁷酸・(強) ⁶⁶⁸塩基と反応
Al³⁺は⁶⁶⁹OH⁻と錯イオンを形成し、⁶⁷⁰NH₃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⁶⁷¹塩基を加える 水酸化アルミニウム

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

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

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

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

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

13.3 ミョウバン・焼きミョウバン

化学式：⁶⁷²AlK(SO₄)₂・12H₂O・⁶⁷³AlK(SO₄)₂

13.3.1 性質

- ⁶⁷⁴白色で、水に⁶⁷⁵溶ける固体
- ⁶⁷⁶酸性

$$\left(^{677}\text{Al}^{3+} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_2 + \text{H}^+ \quad K_1 = 1.1 \times 10^{-5} \text{ mol} \right)$$
- Al³⁺は価数が⁶⁷⁸大きい陽イオン
粘土 (⁶⁷⁹負の⁶⁸⁰疎水コロイド) で濁った水の浄水処理 (⁶⁸¹凝析)
- 水への溶解

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

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

*4 てつこに

14 スズ・鉛

14.1 単体

14.1.1 性質

化学式	^{682}Sn	^{683}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	684 両性元素	
用途	685 ブリキ (鉄にメッキ)	686 鉛蓄電池の 687 負極 688 放射線の遮蔽

【合金】

Cu + Sn... 689 青銅

Sn + Pb... 690 はんだ

14.1.2 製法

- 錫石 SnO_2 にコークスを混ぜて加熱 691 スズ 692 工業的製法



- 方鉛鉱 PbS を焙焼してから、コークスを混ぜて加熱 693 鉛 694 工業的製法



14.1.3 反応

- 鉛と 695 希硝酸



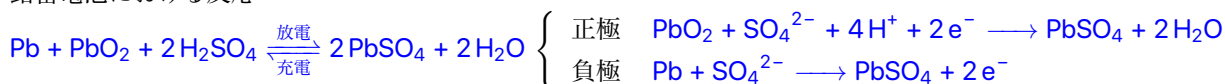
- 鉛と 696 酢酸



- スズと 697 塩酸



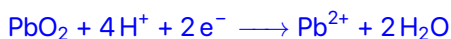
- 鉛蓄電池における反応



14.2 塩化スズ (II)

14.2.1 性質

698 還元剤として働く



14.2.2 製法

スズと 699 塩酸



14.2.3 反応

塩化鉄 (III) 水溶液と塩化スズ (II) 水溶液



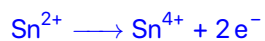
【備考】 塩化スズ (IV) 水溶液と硫化水素



14.3 酸化鉛 (IV)

14.3.1 性質

(696)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

14.4.1 性質

- 加熱すると溶けやすい
- (697)酢酸鉛 (II) 紙を用いた(698)硫化水素の検出 ((699)黒色)

第 III 部

遷移金属

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(700)1 か 2

(701)ランタノイド・(702)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(703)大きく、融点が(704)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(705)白色のものが多い
- 安定な(706)錯イオンを形成しやすい ((707)d 軌道に空きがある)
- 単体や化合物は(708)触媒になるものが多い*5
- 酸化数が $\left\{ \begin{array}{l} \text{小さい} \\ \text{大きい} \end{array} \right\}$ 酸化物は $\left\{ \begin{array}{l} \text{(709)還元} \\ \text{(710)酸化} \end{array} \right\}$ 剤

15 鉄・コバルト・ニッケル

15.1 鉄

15.1.1 性質

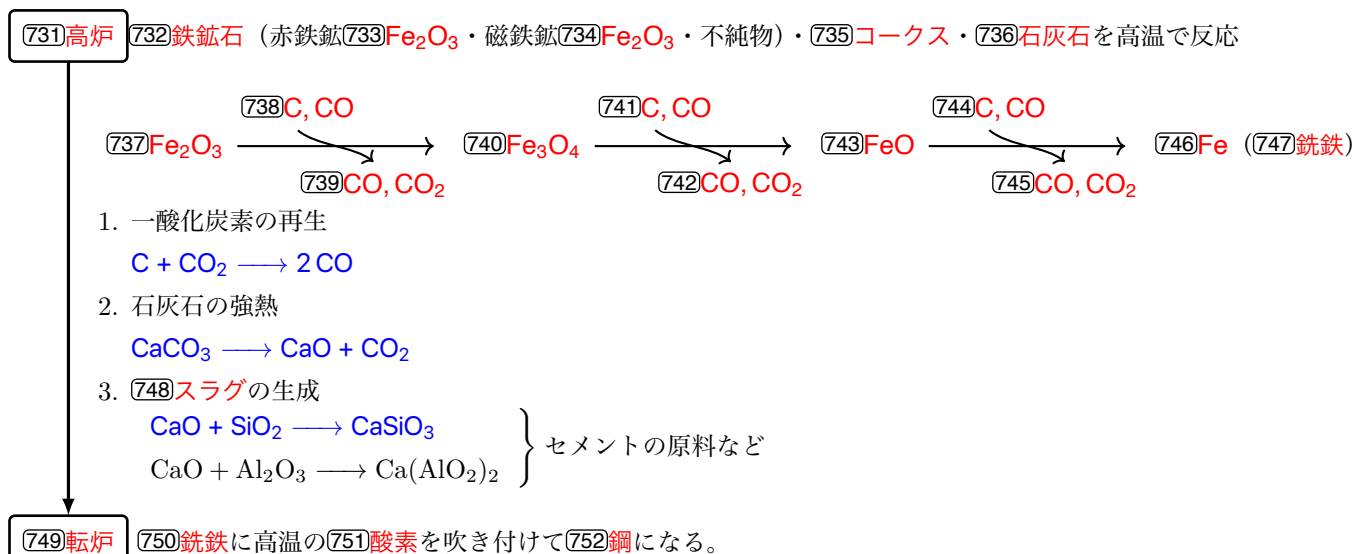
- 常温で(711)強磁性
- イオン化傾向が水素より(712)大きい
(713)強酸と反応 ((714)濃硝酸には(715)不動態となり反応しない)
- (716)高温の水蒸気と反応して(717)緻密な(718)黒錆が生成（酸化被膜）
- 湿った空気中では(719)粗い(720)赤錆を生成

酸化鉄（Ⅲ）	Fe ₂ O ₃	(721)赤褐色	(722)常磁性
四酸化三鉄	Fe ₃ O ₄	(723)黒色	(724)強磁性
酸化鉄（Ⅱ）	FeO	(725)黒色	(726)発火性

軟鋼	(727)鉄鋼	(728)銑鉄	(729)ステンレス鋼	KS 磁石鋼
C0.2% 未満	C2% 未満	C2% 以上	(730)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) VsO₅, MnO₂, Fe₃O₄, 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(753)局部電池（(754)食塩などが溶けていたら反応速度上昇）
 正極（(755)C） $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \longrightarrow 4\text{OH}^-$
 負極（(756)Fe） $\text{Fe} \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$
- (757)水酸化鉄（Ⅱ）の生成

$$\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- \longrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 \text{ (758) 緑色}$$
- 速やかに(759)水酸化鉄（Ⅱ）が酸素により酸化

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

$$\begin{array}{l} \text{Fe}(\text{OH})_3 \longrightarrow \text{FeO}(\text{OH}) + \text{H}_2\text{O} \text{ (酸化水酸化鉄（Ⅲ）濃橙色)} \\ 2\text{Fe}(\text{OH})_3 \longrightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O} + (3-n)\text{H}_2\text{O} \text{ (761) 赤褐色} \end{array}$$
 （エバンスの実験）

15.2 硫酸鉄（Ⅱ）7水和物

化学式：(762) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

15.2.1 性質

- (763)青緑色の固体
- Fe^{2+} 半反応式

$$\text{Fe}^{2+} \longrightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$$
- 空气中で表面が(764) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ （(765)黄褐色）

15.2.2 製法

鉄に(766)希硫酸を加えて、蒸発濃縮

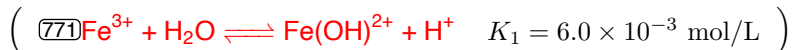
15.3 塩化鉄（Ⅲ）6水和物

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

15.3.1 性質

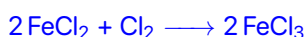
- 黄褐色で潮解性のある固体

- 酸性



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	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	H_2S (酸性)	KSCN
Fe^{2+} (775)淡緑色	(772) $\text{Fe}(\text{OH})_2 \downarrow$ (776)緑白色	$\text{Fe}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6] \downarrow$ (777)青白色	$\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6] \downarrow$ (778)濃青色	(773)変化なし (779)淡緑色	(774)変化なし (780)淡緑色
Fe^{3+} (783)黄褐色	(781) $\text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow$ (784)赤褐色	$\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6] \downarrow$ (785)濃青色	$\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]\text{aq}$ (786)暗褐色	(782) Fe^{2+}aq (787)淡緑色	$[\text{Fe}(\text{NCS})]^{2+}$ (788)血赤色

- $\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}$ は、(789) OH^- と (790) NH_3 と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(791)同一物質

15.5 塩化コバルト（Ⅱ）

化学式： CoCl_2

15.5.1 性質

- 青色で潮解性のある固体
- 6水和物は(795)淡赤色
- 塩化コバルト紙を用いた(796)水の検出
- Co^{3+} は(797) NH_3 と錯イオンを形成

15.6 硫酸ニッケル（Ⅱ）

化学式： NiSO_4

- 黄緑色で潮解性のある固体
- 6水和物は青緑色
- Ni^{2+} は(799) NH_3 と錯イオンを形成

16 銅

16.1 銅

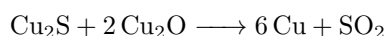
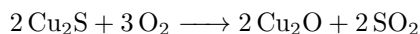
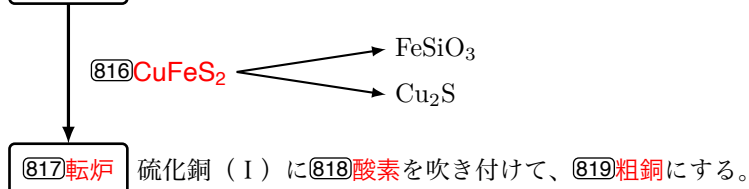
16.1.1 性質

- ⑧00赤色の金属光沢
- 他の金属とさまざまな色の⑧01合金
- 展性・延性が⑧02大きく、電気・熱伝導性が⑧03高い
- イオン化傾向が水素より⑧04低く、酸化力のある酸と反応
- 空気中で徐々に酸化して、緻密な錆（⑧05酸に溶解）が生成
⑧06赤色の酸化銅（Ⅰ） 乾・⑧07青緑色の錆（⑧08緑青） 湿

16.1.2 製法

銅の製錬 粗銅・⑧09電解精錬 純銅 工業的製法

⑧10高炉 ⑧11黄銅鉱（⑧12 CuFeS_2 ）・⑧13コークス・⑧14石灰石・⑧15ケイ砂を高温で反応



16.1.3 反応

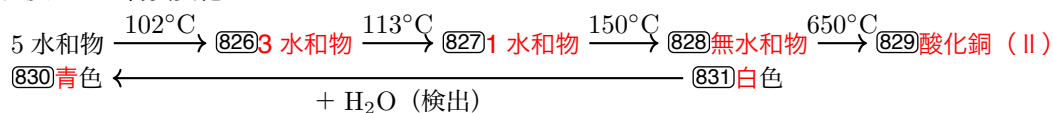
- 銅と希硝酸
 $3\text{Cu} + 8\text{HNO}_3 \longrightarrow 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{NO} \uparrow$
- 銅と濃硝酸
 $\text{Cu} + 4\text{HNO}_3 \longrightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NO}_2 \uparrow$
- 銅と熱濃硫酸
 $\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 \uparrow$
- 空気中で 1000°C 未満で加熱して、⑧20黒色の⑧21酸化銅（Ⅱ）生成
 $2\text{Cu} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{CuO}$
- さらに 1000°C 以上で加熱して、⑧22赤色の⑧23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
 $\text{Cu}_2^{+} + 2\text{OH}^{-} \longrightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow$
- 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

- ⑧24青色の固体（結晶中の⑧25 $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ の色）

- 温度による物質変化



- Cu^{2+} による $\textcircled{832}$ 殺菌作用（農薬）
- 還元性を持つ有機化合物の検出*⁶
 $\textcircled{833}$ 赤色の酸化銅（Ⅰ）が生成

16.2.2 製法

銅に $\textcircled{834}$ 濃硫酸をかけてから $\textcircled{835}$ 加熱。

16.3 銅（Ⅱ）イオンの反応

	少々の塩基	過剰の NH_3	濃塩酸	H_2S ($\textcircled{836}$ 全液性)
Cu^{2+} $\textcircled{841}$ 青色	$\textcircled{837}\text{Ca(OH)}_2 \downarrow$ $\textcircled{842}$ 青白色	$\textcircled{838}[\text{Ca(NH}_3)_4]^{2+} \text{ aq}$ $\textcircled{843}$ 深青色	$\textcircled{839}[\text{CuCl}_4]^{2-} \text{ aq}$ $\textcircled{844}$ 黄緑色	$\textcircled{840}\text{CuS} \downarrow$ $\textcircled{845}$ 黒色

- 炎色反応： $\textcircled{846}$ 青緑色
- 加熱すると $\textcircled{847}$ 分解
- Cu^{2+} は $\textcircled{848}\text{NH}_3$ と錯イオンを形成し、 $\textcircled{849}\text{OH}^-$ とは形成しない

16.4 銅の合金

$\textcircled{850}$ 黄銅（真鍮）	$\textcircled{851}$ 洋銀（洋白）	$\textcircled{852}$ 白銅	$\textcircled{853}$ 青銅	$\textcircled{854}$ ジュラルミン
$\textcircled{855}\text{Zn}$	$\textcircled{856}\text{Zn, Ni}$	$\textcircled{857}\text{Ni}$	$\textcircled{858}\text{Sn}$	$\textcircled{859}\text{Al}$ （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

*⁶ フェーリング液・ベネディクト液

17 銀

17.1 銀

17.1.1 性質

- 展性・延性が(860)大きく、電気・熱伝導性が(861)最も高い
- イオン化傾向が水素より(862)小さい
(863)酸化力のある酸 ((864)硝酸・(865)熱濃硫酸) と反応
- 空气中で酸化しにくい、(866)硫化水素とは容易に反応

17.1.2 製法

- 銅の電解精錬の(867)陽極泥 (工業的製法)
- 銀の化合物の熱分解・光分解
酸化銀の熱分解
 $2\text{Ag}_2\text{O} \longrightarrow 4\text{Ag} + \text{O}_2$
ハロゲン化銀 AgX の感光
 $2\text{AgX} \longrightarrow 2\text{Ag} + \text{X}_2$

17.1.3 反応

- 銀と希硝酸
 $3\text{Ag} + 4\text{HNO}_3 \longrightarrow 3\text{AgNO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{NO}\uparrow$
- 銀と濃硝酸
 $\text{Ag} + 2\text{HNO}_3 \longrightarrow \text{AgNO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{NO}_2\uparrow$
- 銀と熱濃硫酸
 $2\text{Ag} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{Ag}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2\uparrow$
- 銀と硫化水素
 $4\text{Ag} + 2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{Ag}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$

17.2 銀 (I) イオンの反応

(868)硝酸銀水溶液に含まれる

	少量の塩基	過剰の NH_3	HCl	H_2S ((869)全液性)	K_2CrO_4
Ag^{2+} (875)無色	(870) $\text{Ag}_2\text{O}\downarrow$ (876)褐色	(871) $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ (877)無色	(872) $\text{AgCl}\downarrow$ (878)白色	(873) $\text{Ag}_2\text{S}\downarrow$ (879)黒色	(874) $\text{Ag}_2\text{CrO}_4\downarrow$ (880)赤褐色

- 銀と少量の塩基
 $2\text{Ag}^+ + 2\text{OH}^- \longrightarrow \text{Ag}_2\text{O}\downarrow + \text{H}_2\text{O}$
- 銀と過剰の NH_3
 $\text{Ag}_2\text{O} + 4\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + 2\text{OH}^-$
- 銀と HCl
 $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \longrightarrow \text{AgCl}\downarrow$
- 銀と H_2S
 $2\text{Ag}^+ + \text{S}_2^{2-} \longrightarrow \text{Ag}_2\text{S}\downarrow$
- 銀と K_2CrO_4
 $\text{AgCl} + 2\text{NH}_3 \longrightarrow [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + \text{Cl}^-$

17.3 難溶性化合物の溶解性

		HNO ₃	NH ₃	NaS ₂ O ₃	KCN
Ag ₂ S↓	⑧81黒色	⑧82溶ける	⑧83溶けない	⑧84溶けない	⑧85溶ける
Ag ₂ O↓	⑧86褐色	⑧87溶ける	⑧88溶ける	⑧89溶ける	⑧90溶ける
AgCl↓	⑧91白色	⑧92溶けない	⑧93溶ける	⑧94溶ける	⑧95溶ける
AgBr↓	⑧96淡黄色	⑧97溶けない	⑧98やや溶ける	⑧99溶ける	⑨00溶ける
AgI↓	⑨01黄色	⑨02溶けない	⑨03溶けない	⑨04溶ける	⑨05溶ける
溶解している物質	⑨06無色	⑨07Ag ⁺ (AgNO ₃)	⑨08[Ag(NH ₃) ₂] ⁺	⑨09[Ag(S ₂ O ₃) ₂] ³⁻	⑨10[Ag(CN) ₂] ⁻

18 クロム・マンガン

化学式：⑨11Cr・⑨12Mn

18.1 単体

18.1.1 性質

- ⑨13強酸と反応（⑨14Crは⑨15濃硝酸には⑨16不動態となり反応しない）
- 空気中で錆び⑨17にくい（⑨18不動態）⇒⑨19ステンレス鋼（Fe, Cr, Ni）クロム
空気中で錆び⑨20やすい マンガン
- ⑨21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
 $\text{Cr} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{CrCl}_2 + \text{H}_2 \uparrow$ （Cr²⁺：青色）
- マンガンと希塩酸
 $\text{Mn} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{MnCl}_2 + \text{H}_2 \uparrow$ （Mn²⁺：⑨22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：⑨23K₂CrO₄・⑨24K₂Cr₂O₇

18.2.1 性質

- 二つは平衡状態にある

$$\text{⑨25}2\text{CrO}_4^{2-} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{⑨26}\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{OH}^-$$

⑨27塩基性・⑨28黄色 ⑨29酸性・⑨30赤橙色
- ⑨31酸化剤として反応 ニクロム酸カリウム

$$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- \longrightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$$
（⑨32硫酸酸性下）

18.2.2 製法

- 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

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

$$\text{Cr(OH)}_3 + \text{OH}^- \longrightarrow [\text{Cr(OH)}_4]^-$$
- 過酸化水素水を加えて加熱

$$2[\text{Cr(OH)}_4]^- + 3\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{OH}^- \longrightarrow 2\text{CrO}_4^{2-} + 8\text{H}_2\text{O}$$

18.2.3 反応

- クロム酸イオンと銀イオン

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

$$\text{CrO}_4^{2-} + \text{Ba}^{2+} \longrightarrow \text{BaCrO}_4 \downarrow$$
（⑨34黄色）
- クロム酸イオンと銀イオン

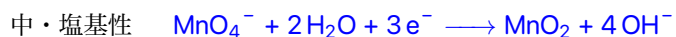
$$\text{CrO}_4^{2-} + \text{Ag}^{2+} \longrightarrow \text{PbCrO}_4$$
（⑨35黄色）

18.3 過マンガン酸カリウム

化学式：⑨36KMnO₄

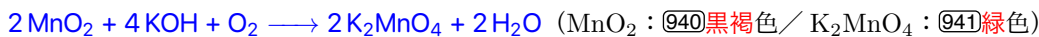
18.3.1 性質

- ⑨37黒紫色の固体
- ⑨38酸化剤として反応

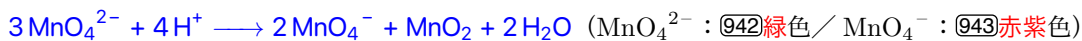


18.3.2 製法

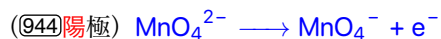
1. 酸化マンガ (IV) と水酸化ナトリウムを混ぜて空気中で加熱



2. (a) 酸性にする



- (b) 電気分解する



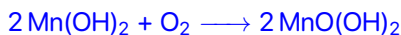
18.4 マンガンの安定な酸化数

残留酸素の定量 (ウィンクラー法)

1. マンガ (III) イオンを含む水溶液に塩基を加える



2. 水酸化マンガ (II) が水溶液中の溶存酸素と速やかに反応



3. 希硫酸を加える



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洗气瓶に入れて使用。

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 P_4O_{10}	酸性・中性	塩基性の気体（⑤ NH_3 ）
	⑥濃硫酸	⑦ H_2SO_4		+⑧ H_2S （⑨還元剤）
中性	⑩塩化カルシウム	⑪ CaCl_2	ほとんど全て	⑫ 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 CaO	中性・塩基性	酸性の気体 ⑰ Cl_2 , ⑱ HCl , ⑲ H_2S , ⑳ SO_2 , ㉑ CO_2 , ㉒ NO_2
	⑰ソーダ石灰	⑱ CaO と NaOH		

B 水の硬度

水の中の重荷 Ca^{2+} と Mg^{2+} を 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

{

煮沸する㉓炭酸塩が沈澱して軟化可能（一時硬水）

例 炭酸水素カルシウム水溶液

$$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$$

例 炭酸水素マグネシウム水溶液

$$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 \longrightarrow \text{MgCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$$

煮沸しても軟化不可能（永久硬水）

C 金属イオンの難溶性化合物

	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ S	H ₂ S	OH ⁻	OH ⁻	NH ₃
			酸性	中・塩基性	NH ₃	過剰	過剰
K ⁺	(26) — (33) —色	(27) — (34) —色	(28) — (35) —色	(29) — (36) —色	(30) — (37) —色	(31) — (38) —色	(32) — (39) —色
Ba ²⁺	(40) — (47) —色	(41) BaSO ₄ (48) 白色	(42) — (49) —色	(43) — (50) —色	(44) — (51) —色	(45) — (52) —色	(46) — (53) —色
Sr ²⁺	(54) — (61) —色	(55) SrSO ₄ (62) 白色	(56) — (63) —色	(57) — (64) —色	(58) — (65) —色	(59) — (66) —色	(60) — (67) —色
Ca ²⁺	(68) — (75) —色	(69) CaSO ₄ (76) 白色	(70) — (77) —色	(71) — (78) —色	(72) Ca(OH) ₂ (79) 白色	(73) Ca(OH) ₂ (80) 白色	(74) Ca(OH) ₂ (81) 白色
Na ⁺	(82) — (89) —色	(83) — (90) —色	(84) — (91) —色	(85) — (92) —色	(86) — (93) —色	(87) — (94) —色	(88) — (95) —色
Mg ²⁺	(96) — (103) —色	(97) — (104) —色	(98) — (105) —色	(99) — (106) —色	(100) Mg(OH) ₂ (107) 白色	(101) Mg(OH) ₂ (108) 白色	(102) — (109) —色
Al ³⁺	(110) — (117) —色	(111) — (118) —色	(112) — (119) —色	(113) Al(OH) ₃ (120) 白色	(114) Al(OH) ₃ (121) 白色	(115) [Al(OH) ₄] ⁻ (122) 白色	(116) Al(OH) ₃ (123) 白色
Mn ²⁺	(124) — (131) —色	(125) — (132) —色	(126) — (133) —色	(127) MnS (134) 淡桃色	(128) Mn(OH) ₂ (135) 白色	(129) Mn(OH) ₂ (136) 白色	(130) Mn(OH) ₂ (137) 白色
Zn ²⁺	(138) — (145) —色	(139) — (146) —色	(140) — (147) —色	(141) ZnS (148) 白色	(142) Zn(OH) ₂ (149) 白色	(143) [Zn(OH) ₄] ²⁻ (150) 無色	(144) [Zn(NH ₃) ₄] ²⁺ (151) 無色
Cr ³⁺	(152) — (159) —色	(153) — (160) —色	(154) — (161) —色	(155) — (162) —色	(156) Cr(OH) ₃ (163) 灰緑色	(157) [Cr(OH) ₄] ⁻ (164) 緑色	(158) Cr(OH) ₃ (165) 灰緑色
Fe ²⁺	(166) — (173) —色	(167) — (174) —色	(168) — (175) —色	(169) FeS (176) 黒色	(170) Fe(OH) ₂ (177) 緑白色	(171) Fe(OH) ₂ (178) 緑白色	(172) Fe(OH) ₂ (179) 緑白色
Fe ³⁺	(180) — (187) —色	(181) — (188) —色	(182) Fe ²⁺ (189) 淡緑色	(183) FeS (190) 黒色	(184) Fe(OH) ₃ (191) 赤褐色	(185) Fe(OH) ₃ (192) 赤褐色	(186) Fe(OH) ₃ (193) 赤褐色
Cd ²⁺	(194) — (201) —色	(195) — (202) —色	(196) CdS (203) 黄色	(197) CdS (204) 黄色	(198) Cd(OH) ₂ (205) 白色	(199) Cd(OH) ₂ (206) 白色	(200) [Cd(NH ₃) ₄] ²⁺ (207) 無色
Co ²⁺	(208) — (215) —色	(209) — (216) —色	(210) CoS (217) 黒色	(211) Co(OH) ₂ (218) 青色	(212) Co(OH) ₂ (219) 青色	(213) Co(OH) ₂ (220) 青色	(214) Co(OH) ₂ (221) 青色
Ni ²⁺	(222) — (229) —色	(223) — (230) —色	(224) NiS (231) 黒色	(225) Ni(OH) ₂ (232) 緑白色	(226) Ni(OH) ₂ (233) 緑白色	(227) Ni(OH) ₂ (234) 緑白色	(228) [Ni(NH ₃) ₆] ²⁺ (235) 青紫色
Sn ²⁺	(236) — (243) —色	(237) — (244) —色	(238) SnS (245) 褐色	(239) SnS (246) 褐色	(240) Sn(OH) ₂ (247) 白色	(241) [Sn(OH) ₄] ²⁻ (248) 白色	(242) Sn(OH) ₂ (249) 白色
Pb ²⁺	(250) PbCl (257) 白色	(251) PbSO ₄ (258) 白色	(252) PbS (259) 黒色	(253) PbS (260) 黒色	(254) Pb(OH) ₂ (261) 白色	(255) [Pb(OH) ₄] ²⁻ (262) 無色	(256) Pb(OH) ₂ (263) 白色
Cu ²⁺	(264) — (271) —色	(265) — (272) —色	(266) CuS (273) 白色	(267) CuS (274) 白色	(268) Cu(OH) ₂ (275) 青白色	(269) Cu(OH) ₂ (276) 青白色	(270) [Cu(NH ₃) ₄] ²⁺ (277) 深青色
Hg ²⁺	(278) — (285) —色	(279) — (286) —色	(280) HgS (287) 黒色	(281) HgS (288) 黒色	(282) HgO (289) 黄色	(283) HgO (290) 黄色	(284) HgO (291) 黄色
Hg ₂ ²⁺	(292) Hg ₂ Cl ₂ (299) 白色	(293) — (300) —色	(294) HgS (301) 黒色	(295) HgS (302) 黒色	(296) HgO (303) 黄色	(297) HgO (304) 黄色	(298) HgO (305) 黄色
Ag ⁺	(306) AgCl (313) 白色	(307) — (314) —色	(308) Ag ₂ S (315) 黒色	(309) Ag ₂ S (316) 黒色	(310) Ag ₂ O (317) 褐色	(311) Ag ₂ O (318) 褐色	(312) [Ag(NH ₃) ₂] ⁺ (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

「**324**配位子の数(数詞) **325**配位子 金属(価数) **326**酸(陰イオンの場合)イオン」

金属イオン	Ag ⁺ Cu ⁺	Cu ²⁺ Zn ²⁺	Fe ²⁺ Fe ³⁺ Co ³⁺ Ni ²⁺ Cr ³⁺ 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

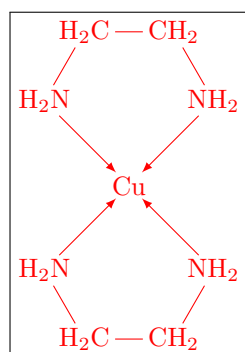
330正八面体形

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

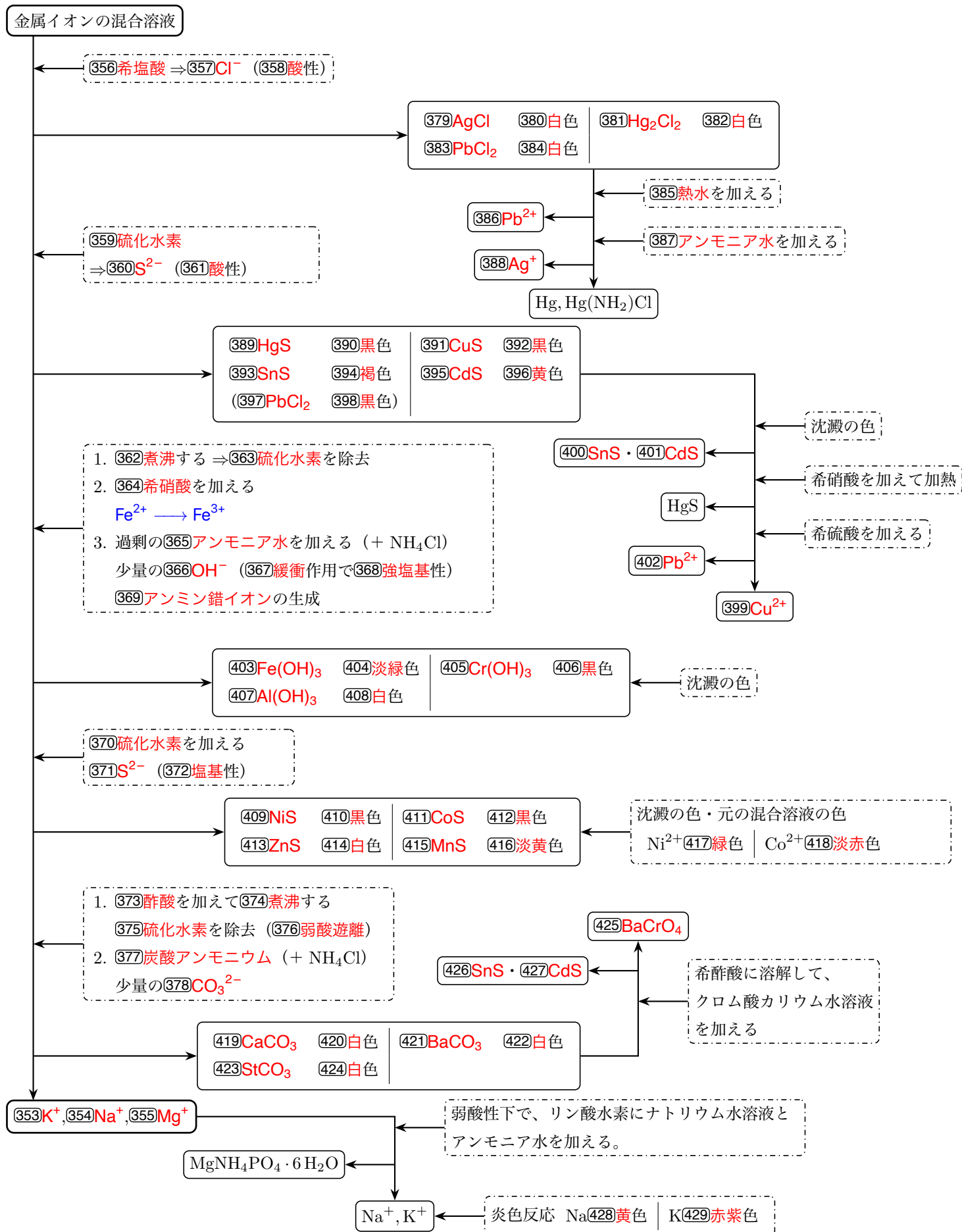
配位子	NH ₃	CN ⁻	H ₂ O	OH ⁻	Cl ⁻	H ₂ N-CH ₂ CH ₂ -NH ₂
名称	341 アンミン	342 シアニド	343 アクア	344 ヒドロキシド	345 クロリド	346 エチレンジアミン

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)

- [Zn(OH)₄]²⁻
349テトラヒドロキシド亜鉛(Ⅱ)酸イオン
- [Zn(NH₃)₄]²⁺
350テトラアンミン亜鉛(Ⅱ)イオン
- [Ag(S₂O₃)₂]³⁻
351ビス(チオスルファト)銀(Ⅰ)イオン
- [Cu(H₂NCH₂CH₂NH₂)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



無機化学

編集 三枝 義啓

表紙 浪越 秋帆

バージョン 3.1.0

コンパイラ Lua \LaTeX

出力日 2022.6.14

内容が更新される場合があります。以下の QR コードからご確認ください。

また、各種 PDF もダウンロード可能です。

誤植などがあった場合は 60084saigusa@seiko.ac.jp までご連絡ください。

最新の版



過去の版

