

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 25

13.1 アルミニウム 25

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 遷移金属		 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	32
16.1	銅	32
16.2	硫酸銅 (II) 5 水和物	33
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	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 色② 臭の③
- 最も④
- 水に溶解⑤

1.2 同位体

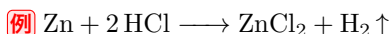
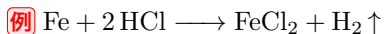
^1H 99% 以上 ^2H (⑥) 0.015% ^3H (⑦) 微量

1.3 製法

- ナフサの電気分解 工業的製法
- ⑧ に⑨ を吹き付ける 工業的製法

- ⑩ (⑪) の電気分解

- ⑫ が⑬ 金属と希薄強酸



- 水素化ナトリウムと水

1.4 反応

- 水素と酸素 (爆鳴気の燃焼)

- 加熱した酸化銅 (II) と水素

2 貴ガス

⑭ , ⑮ , ⑯ , ⑰ , Xe, Rn

2.1 性質

- ⑱ 色⑲ 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
- 電気陰性度が㉑

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%)。

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)
 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
- 加熱した酸化銅 (II) と水素
 $\text{CuO} + \text{H}_2 \longrightarrow \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$

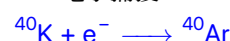
2 貴ガス

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}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

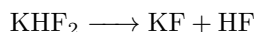
3.1 単体

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	②③	②④	②⑤
色	②⑥ 色	②⑦ 色	②⑧ 色	②⑨ 色
特徴	③⑩ 臭	③① 臭	揮発性	③② 性
H ₂ との反応	③③ でも爆発的に反応	③④ でも③⑤ で爆発的に反応	③⑥ して③⑦ により反応	高温で平衡状態③⑧ して③⑨ により一部反応
水との反応	水を酸化して酸素と④⑩ 反応	④①	④②	④③ ④④
用途	保存が困難 Kr や Xe と反応	④⑤ による ④⑥ 作用	C=C や C≡C の検出	④⑦ 反応で ④⑧ 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](#)



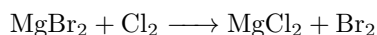
- ④⑨ の電気分解 [塩素](#) [工業的製法](#)

- ⑤⑩ に⑤① を加えて加熱 [塩素](#)

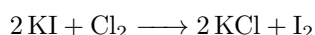
- ⑤② と⑤③ [塩素](#)

- ⑤④ と⑤⑤ [塩素](#)

- 臭化マグネシウムと塩素 [臭素](#)



- ヨウ化カリウムと塩素 [ヨウ素](#)



3.1.3 反応

- フッ素と水素

- 塩素と水素

- 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 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	④⑱一部とけて反応	④⑲一部とけて反応	④⑳反応しない ④㉑Klaq には可溶
用途	保存が困難 Kr や Xe と反応	④㉒ClO ⁻ による ④㉓殺菌・漂白作用	C=C や C≡C の検出	④㉔ヨウ素デンプン反応で ④㉕青紫色

3.1.2 製法

- フッ化水素ナトリウム KHF₂ のフッ化水素 HF 溶液の電気分解 **工業的製法**
 $\text{KHF}_2 \longrightarrow \text{KF} + \text{HF}$
- ④⑨塩化ナトリウム水溶液の電気分解 **塩素** **工業的製法**
 $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Cl}_2 + \text{H}_2 + 2\text{NaOH}$
- ⑤⑩酸化マンガン (IV) に⑤⑪濃塩酸を加えて加熱 **塩素**
 $\text{MnO}_2 + 4\text{HCl} \xrightarrow{\Delta} \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$
- ⑤⑫高度さらし粉と⑤⑬塩酸 **塩素**
 $\text{Ca}(\text{ClO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{HCl} \longrightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{Cl}_2 \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$
- ⑤⑭さらし粉と⑤⑮塩酸 **塩素**
 $\text{CaCl}(\text{ClO}) \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{CaCl}_2 + \text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$
- 臭化マグネシウムと塩素 **臭素**
 $\text{MgBr}_2 + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{MgCl}_2 + \text{Br}_2$
- ヨウ化カリウムと塩素 **ヨウ素**
 $2\text{KI} + \text{Cl}_2 \longrightarrow 2\text{KCl} + \text{I}_2$

3.1.3 反応

- フッ素と水素
 $\text{H}_2 + \text{F}_2 \xrightarrow{\text{常温で爆発的に反応}} 2\text{HF}$
- 塩素と水素
 $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{光を当てると爆発的に反応}} 2\text{HCl}$
- 臭素と水素
 $\text{H}_2 + \text{Br}_2 \xrightarrow{\text{高温で反応}} 2\text{HBr}$

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

3.1.4 塩素発生実験の装置



Cl₂,HCl,H₂O

↓56に通す(HClの除去)

Cl₂,H₂O

↓57に通す(H₂Oの除去)

Cl₂

3.1.5 塩素のオキソ酸

オキソ酸…58

+ VII	59	60	
+ V	61	62	
+ III	63	64	
+ I	65	66	

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色68臭			
沸点	20℃	−85℃	−67℃	−35℃
水との反応	69			
水溶液 (強弱)	70	71	72	73
	74	<< 75	< 76	< 77
用途	78と反応 ⇒ ポリエチレン瓶	79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に81を加えて加熱(82)フッ化水素
- 83と84塩化水素工業的製法
- 85に86を加えて加熱塩化水素(87酸・88酸の追い出し)

3.2.3 反応

- 気体のフッ化水素がガラスを侵食する反応
- フッ化水素酸（水溶液）がガラスを侵食する反応
- 89による90の検出

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 ⑦④ 弱酸	⑦① 塩酸 ⑦⑤ 強酸	⑦② 臭化水素酸 ⑦⑥ 強酸	⑦③ ヨウ化水素酸 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

- 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色	⑨2色	⑨3色	⑨4色
水との反応	⑨5	⑨6		
光との反応	⑨7	感光性 (→⑨8)		

3.3.2製法

- 酸化銀（I）にフッ化水素酸を加えて蒸発圧縮
- ハロゲン化水素イオンを含む水溶液と⑨9

3.4次亜塩素酸塩

3.4.1性質

⑩0剤として反応 (⑩1・⑩2作用)

3.4.2製法

- 水酸化ナトリウム水溶液と塩素
- 水酸化カルシウムと塩素

3.5塩素酸カリウム

化学式：⑩3

3.5.1性質

⑩4の生成 (⑩5を触媒に加熱)

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

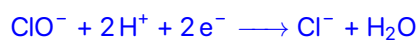
$$\text{Ag}_2\text{O} + 2\text{HF} \longrightarrow 2\text{AgF} + \text{H}_2\text{O}$$
- ハロゲン化水素イオンを含む水溶液と⑨⑨硝酸銀水溶液

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

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

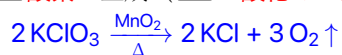
$$\text{Ca(OH)}_2 + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{CaCl}(\text{ClO}) \cdot \text{H}_2\text{O}$$

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 体：酸素 (O₂),¹⁰⁷ (O₃)

地球の地殻に¹⁰⁸ 存在

地球の地殻における元素の存在率

¹⁰⁹	>	¹¹⁰	>	¹¹¹	>	¹¹²	>	¹¹³	>	¹¹⁴
¹¹⁵		¹¹⁶		¹¹⁷		¹¹⁸		¹¹⁹		¹²⁰
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：O₂

4.2.1 性質

- ¹²¹ 色¹²² 臭の¹²³
- 沸点 −183°C

4.2.2 製法

- ¹²⁴ 工業的製法
- ¹²⁵ (¹²⁶) の¹²⁷
- ¹²⁸ (¹²⁹) の分解
- ¹³⁰ の熱分解

4.2.3 反応

¹³¹ 剤としての反応

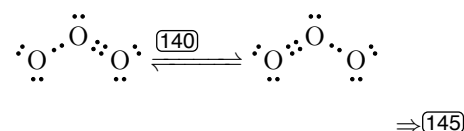
4.3 オゾン

化学式：¹³²

4.3.1 性質

- ¹³³ 臭 (¹³⁴ 臭) を持つ¹³⁵ 色の¹³⁶ (常温)
- 水に¹³⁷
- ¹³⁸ ・¹³⁹ 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 /強い¹⁴⁷ を当てる

4.3.3 反応

- ¹⁴⁸ 剤としての反応

- 湿らせた¹⁴⁹ を¹⁵⁰ 色に変色

4 酸素

4.1 酸素原子

同¹⁰⁶位体：酸素 (O₂), ¹⁰⁷オゾン (O₃)

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%
おつ		し		やる		て		か		な

4.2 酸素

化学式：O₂

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¹²⁵の分留 ¹²⁶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



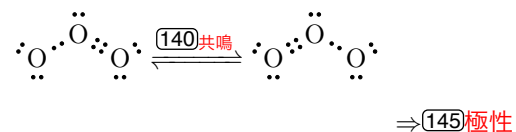
4.3 オゾン

化学式：¹³²O₃

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) 元素	(152) 元素	(153) 元素
水との反応	(154)	(155)	(156) ((157))
中和	(158) と反応	(159) と反応	(160) と反応

両性酸化物…(161) ((162)) ,(163) ((164)) ,(165) ((166)) ,(167) ((168)) *1

- (例) $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$
- (例) $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$
- (例) $3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$

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

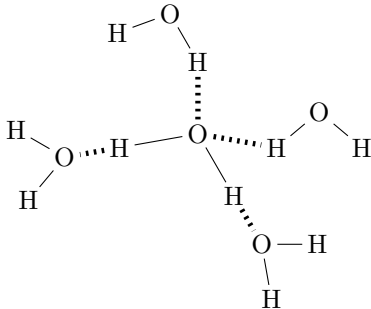
4.5 水

4.5.1 性質

- (169) 分子
- 周りの 4 つの分子と(170) 結合
- 異常に(171) 沸点
- (172) 結晶構造（密度：固体(173) 液体）
- 特異な(174)

4.5.2 反応

- 酸化カルシウムと水
- 二酸化窒素と水

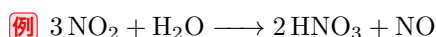
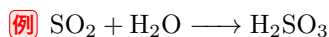
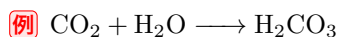


*1 覚え方：ああすんなり

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)オキシ酸
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

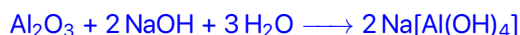
- 酸化銅（Ⅱ）と塩化水素



- 酸化アルミニウムと硫酸



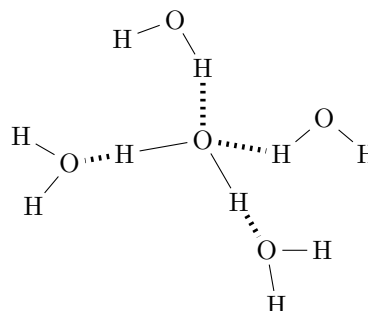
- 酸化アルミニウムと水酸化ナトリウム水溶液



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

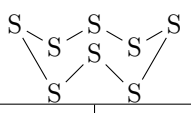
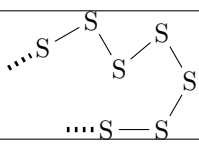


*1 覚え方：ああすんなり

5 硫黄

5.1 硫黄

5.1.1 性質

名称	(175) 硫黄	(176) 硫黄	(177) 硫黄
化学式	(178)	(179)	(180)
色	(181) 色	(182) 色	(183) 色
構造	(184) 結晶	(185) 結晶	(186) 固体
融点	113°C	119°C	不定
構造			
CS ₂ との反応	(187)	(188)	(189)

CS₂… 無色・芳香性・揮発性 ⇒(190) 触媒

5.1.2 反応

- 高温で多くの金属 (Au, Pt を除く) と反応

例 Fe

- 空気中で(191) 色の炎を上げて燃焼

5.2 硫化水素

化学式：(192)

5.2.1 性質

- (193) 色(194) 臭
- (195) 性
 - (196) $K_1 = 9.5 \times 10^{-8} \text{ mol/L}$
 - (197) $K_2 = 1.3 \times 10^{-14} \text{ mol/L}$
- (198) 剤としての反応

- 重金属イオン M^{2+} と(199) 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

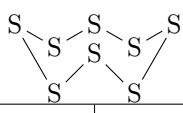
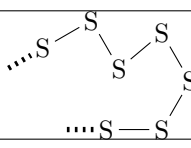
- 硫化水素とヨウ素

- 酢酸鉛 (II) 水溶液と硫化水素 ((200) の検出)

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

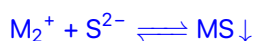
5.2.1 性質

- (193)無色 (194)腐卵臭
- (195)弱酸性

$$\begin{cases} (196)\text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HS}^- & K_1 = 9.5 \times 10^{-8} \text{ mol/L} \\ (197)\text{HS}^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{S}^{2-} & K_2 = 1.3 \times 10^{-14} \text{ mol/L} \end{cases}$$
- (198)還元剤としての反応



- 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) 電子式：

5.3.1 性質

- (202) 色、(203) 臭の(204)
- 水に(205)
- (206) 性
(207) $K_1 = 1.4 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$
- (208) 剤 (209) 作用)
- (210) 剤 (211) などの強い還元剤に対して)

5.3.2 製法

- 硫黄や硫化物の(212) [工業的製法](#)
- (213) と希硫酸
- (214) と(215)

5.3.3 反応

- 二酸化硫黄の水への溶解
- 二酸化硫黄と硫化水素
- 硫酸酸性で過マンガン酸カリウムと二酸化硫黄

5.3 二酸化硫黄（亜硫酸ガス）

化学式：(201)SO₂ 電子式：



5.3.1 性質

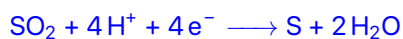
- (202)無色、(203)刺激臭の(204)気体
- 水に(205)溶けやすい
- (206)弱酸性



- (208)還元剤 (209)漂白作用)



- (210)酸化剤 ((211)H₂S などの強い還元剤に対して)

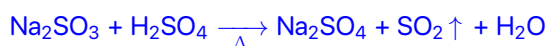


5.3.2 製法

- 硫黄や硫化物の(212)燃焼 (工業的製法)



- (213)亜硫酸ナトリウムと希硫酸

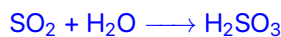


- (214)銅と(215)熱濃硫酸



5.3.3 反応

- 二酸化硫黄の水への溶解



- 二酸化硫黄と硫化水素



- 硫酸酸性で過マンガン酸カリウムと二酸化硫黄



5.4 硫酸

5.4.1 性質

- ②16 色②17 臭の②18
- 水に②19
- 溶解熱が②20
- ②21 を加えて希釈
- ②22 性で密度が②23 く、②24 が大きい **濃硫酸**
- ②25 性・②26 作用 **濃硫酸**
- ②27 **希硫酸**
(②28 $K_1 > 10^8 \text{mol/L}$)
- ②29 **濃硫酸** (②30、②31 の濃度が小さい)
- ②32 剤として働く **熱濃硫酸**
- ②33 (②34、②35)、②36 と難溶性の塩を生成 **希硫酸**

5.4.2 製法

②37 法 **工業的製法**

1. 黄鉄鉱 FeS_2 の燃焼

()

2. ②38 触媒で酸化

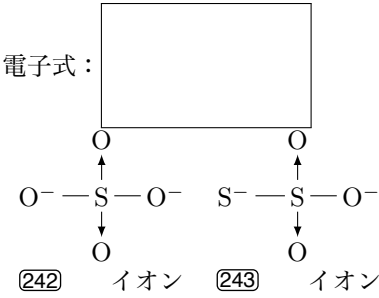
3. ②39 に吸収させて②40 とした後、希硫酸を加えて希釈

5.4.3 反応

- 硝酸カリウムに濃硫酸を加えて加熱
- スクロースと濃硫酸
- 水酸化ナトリウムと希硫酸
- 銅と熱濃硫酸
- 銀と熱濃硫酸
- 塩化バリウム水溶液と希硫酸

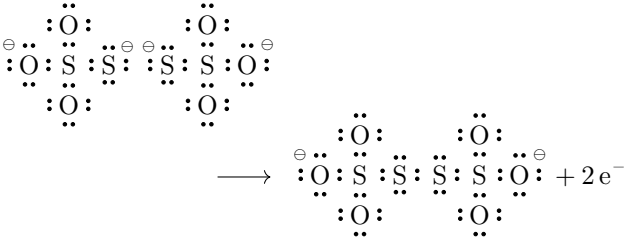
5.5 チオ硫酸ナトリウム（ハイポ）

化学式：②41



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 剤として反応
- 例** 水道水の脱塩素剤（カルキ抜き）
- ②45



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

5.4 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]
($(228)\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HSO}_4^- \quad K_1 > 10^8 \text{mol/L}$)
- (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]

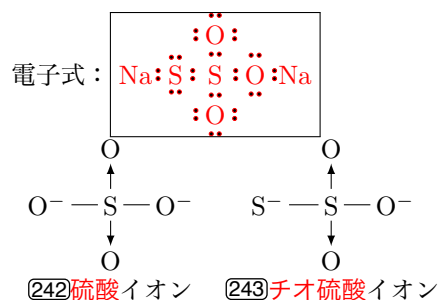
1. 黄鉄鉱 FeS_2 の燃焼
 $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$
($\text{S} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{SO}_2$)
2. (238)酸化バナジウム触媒で酸化
 $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{V}_2\text{O}_5} 2\text{SO}_3$
3. (239)濃硫酸に吸収させて(240)発煙硫酸とした後、希硫酸を加えて希釈
 $\text{SO}_3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

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

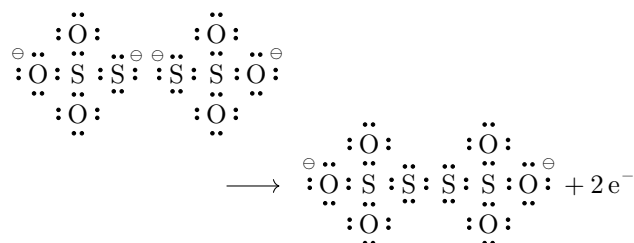
5.5 チオ硫酸ナトリウム（ハイポ）

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) 色	(247) 色	(248) 色	(249) 色	(250) 色	(251) 色	(252) 色	(253) 色	(254) 色	(255) 色

(256) イオン化傾向 (257)
(258) 塩の溶解度積 (K_{sp}) (259)

6 窒素

6.1 窒素

化学式：N₂

6.1.1 性質

- (260) 色(261) 臭の(262)
- 空気の 78% を占める
- 水に溶け(263) ((264) 分子)
- 常温で(265) (食品などの(266))
- 高エネルギー状態 ((267) ・(268)) では反応

6.1.2 製法

- (269) 工業的製法
- (270) の(271)

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)

6.2.1 性質

- (273) 色(274) 臭の(275)
- (276) 結合
- 水に(277) ((278) 置換)
- (279) 性
 $\left(\begin{array}{c} (280) \\ K_1 = 1.7 \times 10^{-5} \text{ mol/L} \end{array} \right)$
- (281) の検出
- 高温・高圧で二酸化炭素と反応して、(282) を生成

6.2.2 製法

- (283) 工業的製法

(284) 温(285) 圧で、(286) ((287)) 触媒

- (288) と(289) を混ぜて加熱

6.2.3 反応

- 硫酸とアンモニア

- 塩素の検出

- アンモニアと二酸化炭素

6.3 一酸化二窒素（笑気ガス）

化学式：(290)

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) 効果

6.3.2 製法

(292) の熱分解

6.4 一酸化窒素

化学式：(293)

6.4.1 性質

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

6.4.2 製法

(298) と(299)

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 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：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

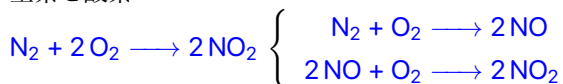
6.1.2 製法

- (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

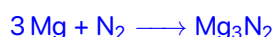


6.1.3 反応

- 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

$$\left(\begin{array}{l} (280)\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \\ K_1 = 1.7 \times 10^{-5} \text{ mol/L} \end{array} \right)$$
- (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

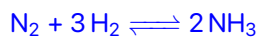
- (283)ハーバーボッシュ法 (工業的製法)

中性・塩基性で沈澱（酸性では溶解）

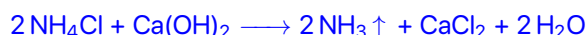
(257)高

(259)小

(284)低温(285)高圧で、(286)四酸化三鉄 (287)Fe₃O₄) 触媒

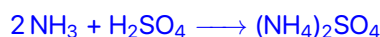


- (288)塩化アンモニウムと(289)水酸化カルシウムを混ぜて加熱



6.2.3 反応

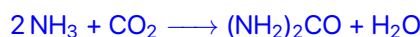
- 硫酸とアンモニア



- 塩素の検出



- アンモニアと二酸化炭素



6.3 一酸化二窒素（笑気ガス）

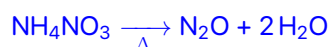
化学式：(290)N₂O

6.3.1 性質

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

6.5.1 性質

- ③01 色③02 臭の③03
- 水と反応して③04 性 (③05 の原因)
- 常温では③06 (③07 色) と③08

- 140°C 以上で熱分解

6.5.2 製法

③09 と③10

6.6 硝酸

化学式：③11

6.6.1 性質

- ③12 色③13 臭で③14 性の③15

- 水に③16

- ③17 性

(③18 $K_1 = 6.3 \times 10^{-1} \text{mol/L}$)

- ③19 に保存 (③20)

- ③21 剤としての反応 (希硝酸)

- ③22 剤としての反応 (濃硝酸)

- イオン化傾向が小さい Cu、Hg、Ag も溶解

- ③23 , ③24 , ③25 , ③26 , ③27 は③28 が

生じて不溶 (濃硝酸)

=③29

- ③30 (③31 :1③32 =3:1) は、Pt,Au も溶解

- NO_3^- は③33 \Rightarrow ③34 で検出

6.6.2 製法

- ③35

1. ③36 触媒で③37 を③38

2. ③39

3. ③40 と反応

- ③41 に③42 を加えて加熱

6.6.3 反応

- アンモニアと硝酸

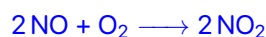
- 硝酸の光分解

- 亜鉛と希硝酸

- 銀と濃硝酸

6.4.3 反応

酸素と反応



6.5 二酸化窒素

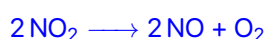
化学式：③①①NO₂

6.5.1 性質

- ③①①赤褐色③①②刺激臭の③①③気体
- 水と反応して③①④強酸性（③①⑤酸性雨の原因）
- 常温では③①⑥四酸化二窒素（③①⑦無色）と③①⑧平衡状態



- 140°C 以上で熱分解



6.5.2 製法

③①⑨銅と③①⑩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

$$\left(\text{③①⑧HNO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{NO}_3^- \quad K_1 = 6.3 \times 10^{-1} \text{mol/L} \right)$$
- ③①⑨褐色瓶に保存（③①⑩光分解）
- ③①⑪酸化剤としての反応（希硝酸）

$$\text{HNO}_3 + \text{H}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
- ③①⑫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
- ③①⑬Al, ③①⑭Cr, ③①⑮Fe, ③①⑯Co, ③①⑰Ni は③①⑱酸化皮膜が生じて不溶（濃硝酸）
 =③①⑲不動態
- ③①⑳王水（③①㉑濃塩酸:1③①㉒濃硝酸=3:1）は、Pt, Au も溶解
- NO₃⁻ は③①㉓沈殿を作らない ⇒ ③①㉔褐輪反応で検出

6.6.2 製法

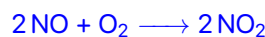
- ③①㉕オストワルト法



- ③①㉖白金触媒で③①㉗アンモニアを③①㉘酸化



- ③①㉙空気酸化



- ③①㉚水と反応

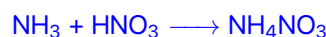


- ③①㉛硝酸塩に③①㉜濃硫酸を加えて加熱



6.6.3 反応

- アンモニアと硝酸



- 硝酸の光分解



- 亜鉛と希硝酸



- 銀と濃硝酸

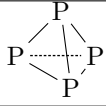
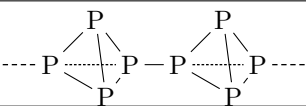


7 リン

7.1 リン

7.1.1 性質

三種類の同(343) 体がある

名称	(344) リン	(345) リン	黒リン
化学式	(346)	(347)	P ₄
融点	44°C	590°C*2	610°C
発火点	35°C (348) に保存	260°C (349)	-
密度	1.8g/cm ³	2.16g/cm ³	2.7g/cm ³
毒性	(350)	(351)	(352)
構造			略
CS ₂ への溶解	(353)	(354)	(355)

7.1.2 製法

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

7.2 十酸化四リン

化学式：(356)

7.2.1 性質

- 白色で昇華性のある固体
- (357) (水との親和性が(358))
- 乾燥剤
- 水を加えて加熱すると反応 (359))

7.2.2 製法

(360)

7.2.3 反応

水を加えて加熱

7.3 リン酸

化学式：(361)

7.3.1 性質

(362)

((363) $K_1 = 7.5 \times 10^{-3}$ mol/L)

7.3.2 反応

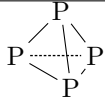
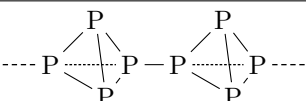
- リン酸と水酸化カルシウムの完全中和
- リン酸カルシウムとリン酸が反応して重過リン酸石灰が生成
- リン酸カルシウムと硫酸が反応して過リン酸石灰が生成

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

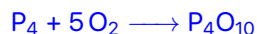
化学式：③56 P_4O_{10}

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

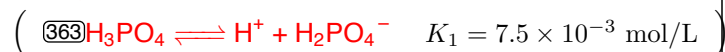


7.3 リン酸

化学式：③61 H_3PO_4

7.3.1 性質

③62中酸性



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 体

- ³⁶⁵
- ³⁶⁶ (³⁶⁷)
- 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
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	³⁷⁰
特徴	³⁷¹ 色 ³⁷² で屈折率が大きい固体	³⁷³ 色で ³⁷⁴ がある固体
密度	3.5g/cm ³	2.3g/cm ³
構造	³⁷⁵ 方向の ³⁷⁶ 結晶	³⁷⁷ 構造 (³⁷⁸)
硬さ	³⁷⁹	³⁸⁰
沸点	³⁸¹	³⁸²
電気伝導性	³⁸³	³⁸⁴
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



8.2.1 性質

- ³⁹⁴ 色³⁹⁵ 臭で³⁹⁶ な気体
- 赤血球のヘモグロビンの³⁹⁷ に対して強い³⁹⁸
- ³⁹⁹ 性で水に溶け⁴⁰⁰ 。(⁴⁰¹ 置換)
- ⁴⁰² 性、高温で⁴⁰³ 性 (⁴⁰⁴ との親和性が非常に高い)

8.2.2 製法

- ⁴⁰⁵ に⁴⁰⁶ を吹き付ける **工業的製法**

8 炭素

8.1 炭素

8.1.1 性質

炭素の同素体

- 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：③85 **CO**

電子式	$\text{:C::}\ddot{\text{O}} \rightleftharpoons \text{:C}\equiv\text{O:}^{\ominus} \text{:N}\equiv\text{N:}^{\oplus}$
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 **Fe²⁺** 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**
- $$\text{C} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CO} + \text{H}_2$$

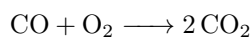
- 炭素の(407)

- (408) に(409) を加えて加熱

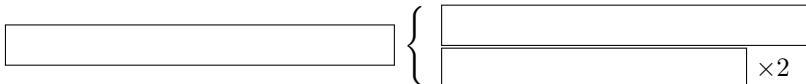
- (410) に(411) を加えて加熱

8.2.3 反応

- 燃焼



- 鉄の精錬



8.3 二酸化炭素

8.3.1 性質

- (412) 色(413) 臭で(414) 性 (固体は(415))
- 大気の 0.04% を占める
- 水に(416)
- (417) 性
((418) $K_1 = 4.3 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$)

8.3.2 製法

- (419) を強熱 工業的製法

- (420) と(421)

- (422) の熱分解

8.3.3 反応

- 二酸化炭素と水酸化ナトリウム

- (423) に通じると(424) しさらに通じると(425)

9 ケイ素

9.1 ケイ素

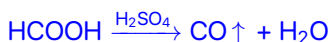
9.1.1 性質

- (426) 色で(427) がある(428) 結晶
- (429)

- 炭素の(407)不完全燃焼



- (408)ギ酸に(409)濃硫酸を加えて加熱

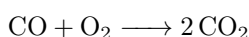


- (410)シュウ酸に(411)濃硫酸を加えて加熱

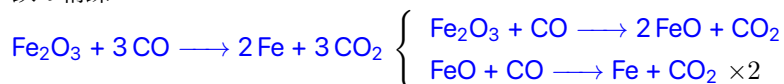


8.2.3 反応

- 燃焼



- 鉄の精錬



8.3 二酸化炭素

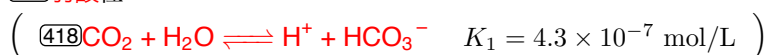
8.3.1 性質

- (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

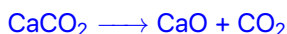
- 水に(416)少し溶ける

- (417)弱酸性

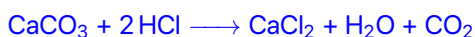


8.3.2 製法

- (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

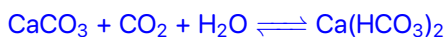


8.3.3 反応

- 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

*3 6N … 太陽電池用、11N … 集積回路用

- (430) 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) （金属は高温で電気伝導性が(432) ）

9.1.2 製法

- (433) と(434) を混ぜて強熱 (工業的製法)

- (435) と(436) 粉末を混ぜて加熱

9.2 二酸化ケイ素

化学式：(437)

9.2.1 性質

- (438) 色(439) の(440) 結晶
- (441)
- 地球の近く中に多く存在（ケイ砂、石英、水晶）
- (442) 酸化物
- (443) ((444) ・吸着剤) の生成に用いられる
多孔質、適度な数の(445)

9.2.2 反応

- (446) と反応
- (447) と反応
- (448) や(449) がガラスを侵す反応 ((450) の生成)
- (451) と(452) から(453) の白色ゲル状沈澱が生じる反応
- (454) を加熱してシリカゲルを得る反応

($0 < n < 1$)

*3 6N… 太陽電池用、11N… 集積回路用

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)



- (435)ケイ砂と(436)マグネシウム粉末を混ぜて加熱



9.2 二酸化ケイ素

化学式：(437)SiO₂

9.2.1 性質

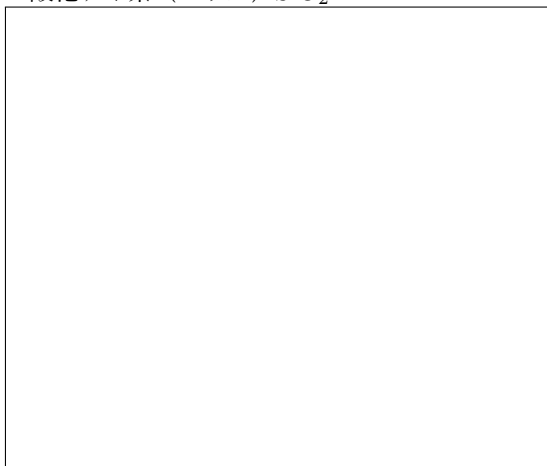
- (438)無色(439)透明の(440)共有結合結晶
- (441)硬い
- 地球の近く中に多く存在（ケイ砂、石英、水晶）
- (442)酸性酸化物
- (443)シリカゲル（(444)乾燥剤・吸着剤）の生成に用いられる
多孔質、適度な数の(445)ヒドロキシ基

9.2.2 反応

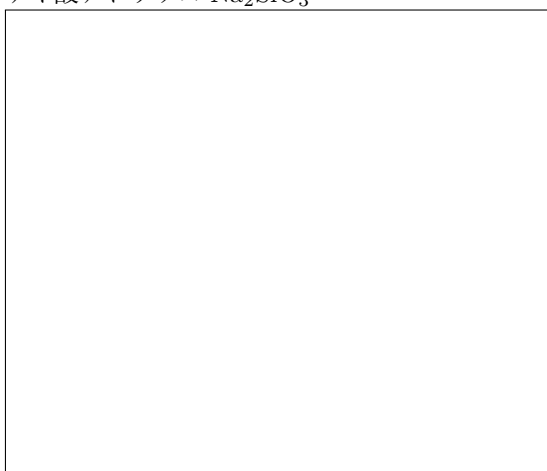
- (446)フッ化水素と反応
$$\text{SiO}_2 + 4 \text{HF} \longrightarrow \text{SiF}_4 \uparrow + 2 \text{H}_2\text{O}$$
- (447)フッ化水素酸と反応
$$\text{SiO}_2 + 6 \text{HF} \longrightarrow \text{H}_2\text{SiF}_6 \uparrow + 2 \text{H}_2\text{O}$$
- (448)水酸化ナトリウムや(449)炭酸ナトリウムがガラスを侵す反応（(450)水ガラスの生成）
$$\text{SiO}_2 + 2 \text{NaOH} \longrightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$$
$$\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \longrightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2$$
- (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
$$\text{H}_2\text{SiO}_3 \xrightarrow{\Delta} \text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O} + (1-n)\text{H}_2\text{O} \quad (0 < n < 1)$$

シリカゲル生成過程での構造変化

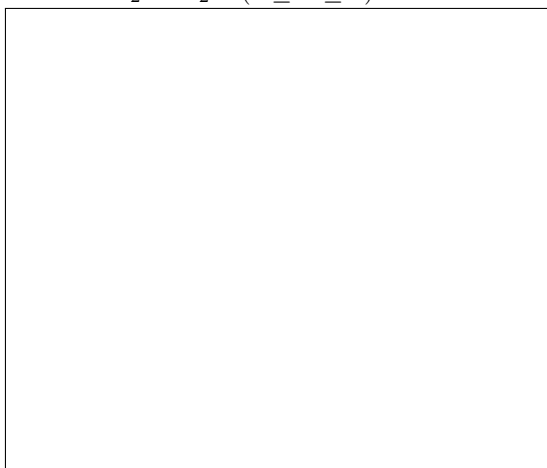
1. 二酸化ケイ素（シリカ） SiO_2



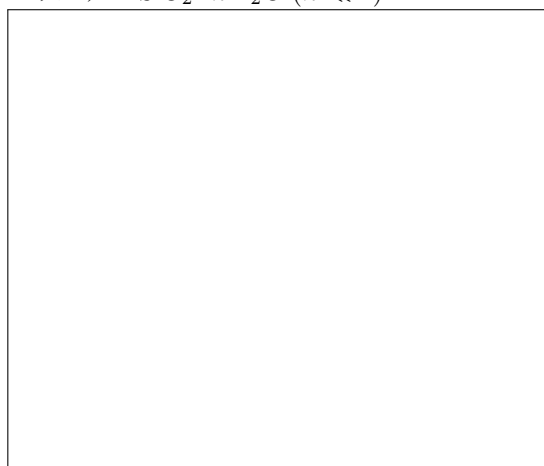
2. ケイ酸ナトリウム Na_2SiO_3



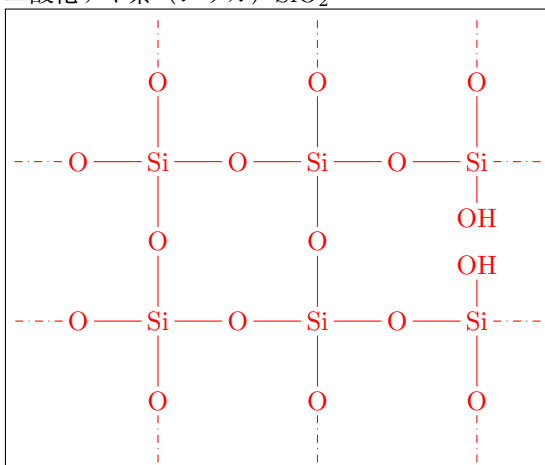
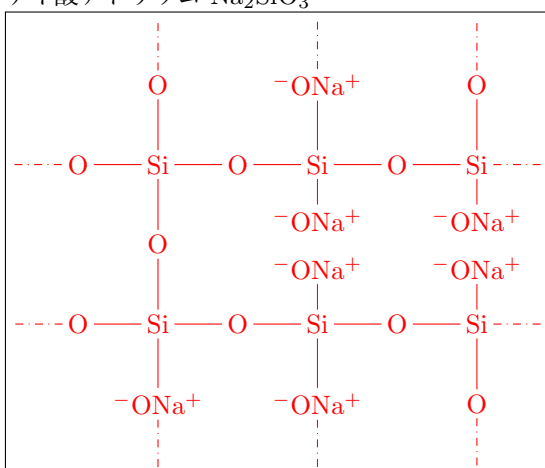
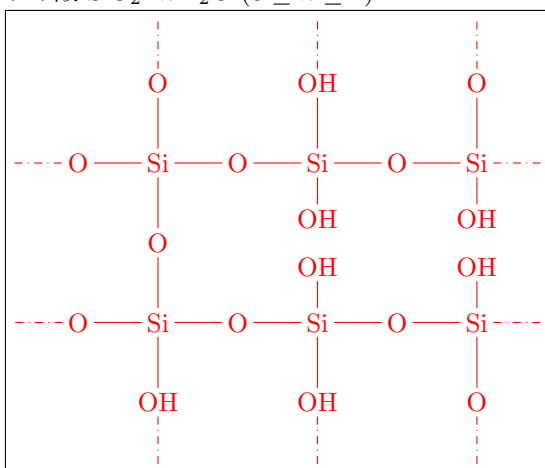
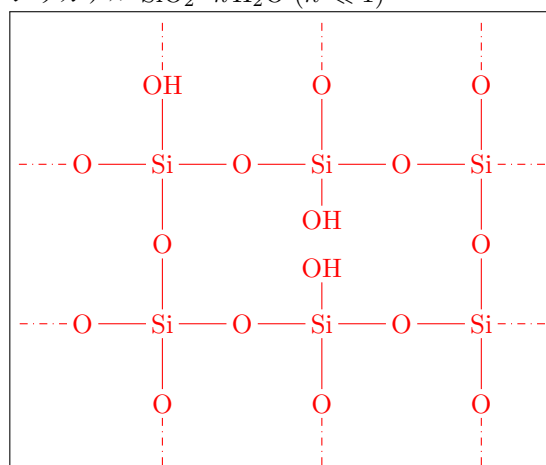
3. ケイ酸 $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ($0 \leq n \leq 1$)



4. シリカゲル $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ($n \ll 1$)



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) 金属
- 全体的に反応性が高く、(456) 中に保存
- 原子一個あたりの自由電子が(457) 個 ((458) い(459) 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) 格子 ((461))				
イオン化エネルギー	大 ————— 小				
反応力	小 ————— 大				
炎色反応	(462) 色	(463) 色	(464) 色	(465) 色	(466) 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) ((468) 法) [工業的製法](#)

(469) 添加 ((470))

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)

10.2.1 性質

- (472) 色の固体
- (473) 性
- 水によくとける（水との親和性が(474))
- (475) 剤
- 強塩基性
((476) $K_1 = 1.0 \times 10^{-1} \text{mol/L}$)

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

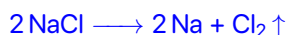


化学式	Li	Na	K	Rb	Cs
融点	181°C	98°C	64°C	39°C	28°C
密度	0.53	0.97	0.86	1.53	1.87
構造	(460)体心立方格子 ((461)軽金属)				
イオン化エネルギー	大				小
反応力	小				大
炎色反応	(462)赤色	(463)黄色	(464)赤紫色	(465)深赤色	(466)青紫色
用途	リチウムイオン 電池の負極	トンネル照明 高速増殖炉の冷却材	磁気センサー 肥料 (K ⁺)	光電池 年代測定	光電管 電子時計 (一秒の基準)

10.1.2 製法

水酸化物や塩化物の(467)熔融塩電解 ((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



- 空気中の(477) と反応して、純度が不明
酸の標準溶液 (478) を用いた中和滴定で濃度決定
()

10.2.2 製法

(479) の(480) (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)	(482)
色	(483) 色	(484) 色
融点	850℃	(485)
液性	(486) 性	(487) 性
用途	(488) や石鹼の原料	胃腸薬・ふくらし粉

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

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_2CO_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) (490) 工業的製法

491

492

493

494

495

496

497

498

499

500

501

1

2

3

4

5

1. 502 の503

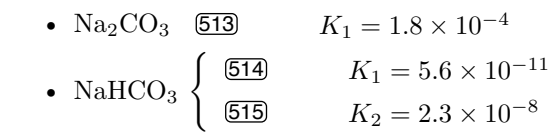
2. 504 と505

3. 506 に507 を溶解させてから、508 を溶解

4. 509 の510

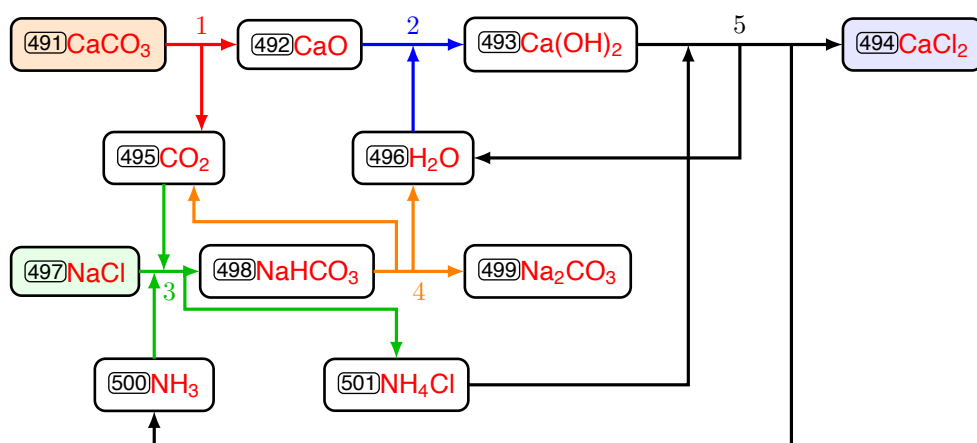
5. 511 と512

10.3.3 反応

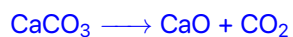


10.3.2 製法

(489)アンモニアソーダ法 (490)ソルベー法 (工業的製法)



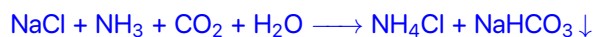
1. (502)炭酸カルシウムの(503)熱分解



2. (504)酸化カルシウムと(505)水



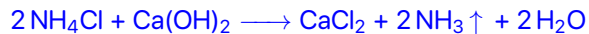
3. (506)塩化ナトリウム水溶液に(507)アンモニアを溶解させてから、(508)二酸化炭素を溶解



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

516, 517, 518

11.1 単体

11.1.1 性質

化学式	519	520	521	522	523
融点	1282°C	649°C	839°C	769°C	729°C
密度 (g/cm ³)	1.85	1.74	1.55	2.54	3.59
524 力	小				大
水との反応	525	526	527	528	529
M(OH) ₂ の水溶性	530	性 (531	性)	532	性 (533
難溶性の塩	534		535		
炎色反応	536	537	538	539	540
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 工業的製法

11.1.3 反応

- マグネシウムの燃焼
[]
- マグネシウムと二酸化炭素
[]
- カルシウムと水
[]

11.2 酸化カルシウム（生石灰）

化学式：542

11.2.1 性質

- 543 色
- 544 との親和性が545 (546)
- 547 酸化物
- 水との反応熱が548 (549)

11.2.2 製法

550 の551
[]

11.2.3 反応

- コークスを混ぜて強熱すると、552 (553) が生成
[]
554 と反応して555 が生成
[]

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

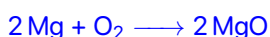
化学式	(519)Be	(520)Mg	(521)Ca	(522)Sr	(523)Ba
融点	1282°C	649°C	839°C	769°C	729°C
密度 (g/cm ³)	1.85	1.74	1.55	2.54	3.59
(524)還元力	小 大				
水との反応	(525)反応しない	(526)熱水	(527)冷水	(528)冷水	(529)冷水
M(OH) ₂ の水溶性	(530)難溶性 (531)弱塩基性)		(532)可溶性 (533)強塩基性)		
難溶性の塩	(534)MCO ₃		(535)MCO ₃ , MSO ₄		
炎色反応	(536)示さない	(537)示さない	(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

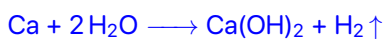
- マグネシウムの燃焼



- マグネシウムと二酸化炭素



- カルシウムと水



11.2 酸化カルシウム（生石灰）

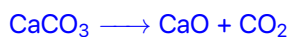
化学式：(542)CaO

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

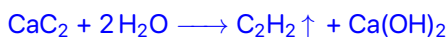


11.2.3 反応

- 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



(554)水と反応して(555)アセチレンが生成



11.3 水酸化カルシウム（消石灰）

化学式：556

11.3.1 性質

- 557 色
- 水に558 固体
- 559 $\left(560 \quad K_1 = 5.0 \times 10^{-2} \right)$
- 水溶液は561

11.3.2 製法

562 と 563 工業的製法

11.3.3 反応

- 塩素と反応して、564 が生成

- 580°C 以上で565

- 二酸化炭素との反応

- 塩化アンモニウムとの反応

11.4 炭酸カルシウム（石灰石）

化学式：566

11.4.1 性質

- 567 色で、水に568
- 569 の形成

11.4.2 反応

- 800°C 以上で570

- 571 を多く含む水に572

11.5 塩化マグネシウム・塩化カルシウム

化学式：573 ・ 574

11.5.1 性質

575 性があり、水に576 （水との親和性が577 ）

578 剤 塩化カルシウム、579 剤

11.5.2 製法

- 海水から得た580 を濃縮 塩化マグネシウム 工業的製法
- 581 （582 ） 塩化カルシウム 工業的製法

11.3 水酸化カルシウム（消石灰）

化学式： Ca(OH)_2

11.3.1 性質

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

11.3.2 製法

酸化カルシウムと水 [工業的製法](#)



11.3.3 反応

- 塩素と反応して、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： CaCO_3

11.4.1 性質

- 白色で、水に溶けにくい
- 鍾乳洞の形成

11.4.2 反応

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

11.5 塩化マグネシウム・塩化カルシウム

化学式： $\text{MgCl}_2 \cdot \text{CaCl}_2$

11.5.1 性質

潮解性があり、水によく溶ける（水との親和性が非常に高い）
乾燥剤 [塩化カルシウム](#)、融雪剤

11.5.2 製法

- 海水から得たにがり濃縮 [塩化マグネシウム](#) [工業的製法](#)
- アンモニアソーダ法（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

11.6.1 性質

584 を約 150℃ で加熱すると、585 が生成
586 を加えると、587 ・588 ・589 して590 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

11.7.1 性質

- 592 色で、水に593 固体
- 反応性が594 く、X 線を遮蔽

12 12 族元素

12.1 単体

12.1.1 性質

化学式	595	596	597
融点	420℃	321℃	−39℃
密度	7.1	8.6	13.6
M ²⁺ aq + H ₂ S (沈澱条件)	598 色の 599 ↓ (604)	600 色の 601 ↓ (605)	602 色の 603 ↓ (606)
特性	高温の水蒸気と反応 608 元素	Cd ²⁺ は Ca ²⁺ と類似 ⇒ イタイイタイ病	607 を作りやすい (609)
用途	610 (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 や612 に利用
- HgS は 450℃ で消火させると613 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
- 塩酸と反応 亜鉛
- 水酸化ナトリウム水溶液と反応 亜鉛

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)



- 塩酸と反応 (亜鉛)



- 水酸化ナトリウム水溶液と反応 (亜鉛)



12.2 酸化亜鉛（亜鉛華）・水酸化亜鉛

化学式：[614](#) ・ [615](#)

12.2.1 性質

- [616](#) 色で、水に[617](#) 固体
- 酸化亜鉛は[618](#)
- [619](#) 酸化物/水酸化物
- [620](#) ・（強）[621](#) と反応 Zn^{2+} は、[622](#) とも [623](#) とも錯イオンを形成

12.2.2 製法

- 亜鉛を燃焼 [工業的製法](#) [酸化亜鉛](#)
- 亜鉛イオンを含む水溶液に、少量の[624](#) を加える [水酸化亜鉛](#)

12.2.3 反応

- 酸化亜鉛と塩酸
- 酸化亜鉛と水酸化ナトリウム水溶液
- 水酸化亜鉛と塩酸
- 水酸化亜鉛と水酸化ナトリウム水溶液
- 水酸化亜鉛の過剰な[625](#) との反応

12.3 塩化水銀（Ⅰ）・塩化水銀（Ⅱ）

化学式：[626](#) ・ [627](#)

12.3.1 性質

- 白色で、水に溶けにくい固体で、微毒 [塩化水銀（Ⅰ）](#)
- 白色で、水に少し溶ける固体で、猛毒 [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](#) 、[629](#) 金属

12.2 酸化亜鉛（亜鉛華）・水酸化亜鉛

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

12.2.1 性質

- 白色で、水にとけにくい固体
 - 酸化亜鉛は顔料
 - 両性酸化物/水酸化物
- 酸・（強）塩基と反応 Zn^{2+} は、 OH^- とも NH_3 とも錯イオンを形成

12.2.2 製法

- 亜鉛を燃焼 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 OH^- を加える 水酸化亜鉛

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

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

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

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

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

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

12.3 塩化水銀（Ⅰ）・塩化水銀（Ⅱ）

化学式： $\text{Hg}_2\text{Cl}_2 \cdot \text{HgCl}$

12.3.1 性質

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

- 密度が小さく、やわらかい金属

- 展性・延性が⁽⁶³⁰⁾、電気・熱伝導率が⁽⁶³¹⁾

電気・熱伝導性が高い金属

⁽⁶³²⁾ > ⁽⁶³³⁾ > ⁽⁶³⁴⁾ > ⁽⁶³⁵⁾

- ⁽⁶³⁶⁾ 元素 (⁽⁶³⁷⁾ には⁽⁶³⁸⁾ となり反応しない)
表面の緻密な⁽⁶³⁹⁾ が内部を保護 (⁽⁶⁴⁰⁾ ,⁽⁶⁴¹⁾ ,⁽⁶⁴²⁾ ,⁽⁶⁴³⁾ ,⁽⁶⁴⁴⁾ *4)
電気分解 (⁽⁶⁴⁵⁾ 極) で人工的に厚い酸化被膜をつける製品加工 (⁽⁶⁴⁶⁾)
- イオン化傾向が⁽⁶⁴⁷⁾、⁽⁶⁴⁸⁾ 力が⁽⁶⁴⁹⁾
- ⁽⁶⁵⁰⁾ 反応 (多量の⁽⁶⁵¹⁾ ・⁽⁶⁵²⁾ が発生)

13.1.2 製法

- ⁽⁶⁵³⁾ から得た⁽⁶⁵⁴⁾ (⁽⁶⁵⁵⁾) の熔融塩電解 [工業的製法](#)

- バイヤー法

- ⁽⁶⁵⁶⁾ を濃い⁽⁶⁵⁷⁾ 水溶液に溶解

- 溶解しない不純物をろ過して、ろ液を水で希釈して $\text{Al}(\text{OH})_3$ の種結晶を入れる

- 成長した⁽⁶⁵⁸⁾ を強熱

- ホールエール法

- ⁽⁶⁵⁹⁾ Na_3AlF_6 を融解し、酸化アルミニウムを溶解

- ⁽⁶⁶⁰⁾ 電極で電気分解

{	陽極		,	
	陰極			

13.1.3 反応

- アルミニウムの燃焼

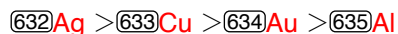
- アルミニウムと高温の水蒸気

- テルミット反応

*4 てつこに

- 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 (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) の熔融塩電解 [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 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 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⁶⁵⁸ $\text{Al}(\text{OH})_3$ 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
 - ⁶⁵⁹氷晶石 Na_3AlF_6 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

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{陽極} & \text{C} + \text{O}^{2-} \longrightarrow \text{CO} + 2\text{e}^-, \text{C} + 2\text{O}^{2-} \longrightarrow \text{CO}_2 + 4\text{e}^- \\ \text{陰極} & \text{Al}_3^+ + 3\text{e}^- \longrightarrow \text{Al} \end{array} \right.$$

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： Al_2O_3 ・ $\text{Al}(\text{OH})_3$ 酸化アルミニウムの別称： Al_2O_3

13.2.1 性質

- Al_2O_3 色で、水に $\text{Al}(\text{OH})_3$
- Al_2O_3 酸化物/水酸化物
 Al_2O_3 ・ (強) $\text{Al}(\text{OH})_3$ と反応
 Al^{3+} は $\text{Al}(\text{OH})_3$ と錯イオンを形成し、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 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 $\text{Al}(\text{OH})_3$ を加える $\text{Al}(\text{OH})_3$

13.2.3 反応

- 酸化アルミニウムと塩酸
 $\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{HCl} \rightarrow 2\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
- 酸化アルミニウムと水酸化ナトリウム水溶液
 $\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaAl}(\text{OH})_4$
- 水酸化アルミニウムと塩酸
 $\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl} \rightarrow \text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
- 水酸化アルミニウムと水酸化ナトリウム水溶液
 $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaAl}(\text{OH})_4$

13.3 ミョウバン・焼きミョウバン

化学式： $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ・ $\text{K}_2\text{Al}_2(\text{SO}_4)_6$

13.3.1 性質

- $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 色で、水に $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ 固体
- $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
 $\left(\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O} \right) K_1 = 1.1 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$
- Al^{3+} は価数が Al^{3+} 陽イオン
粘土 ($\text{Al}(\text{OH})_3$ の $\text{Al}(\text{OH})_3$ コロイド) で濁った水の浄水処理 ($\text{Al}(\text{OH})_3$)
- 水への溶解
 $\text{Al}(\text{OH})_3$

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

13.2 酸化アルミニウム・水酸化アルミニウム

化学式： $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}(\text{OH})_3$ 酸化アルミニウムの別称：**アルミナ**

13.2.1 性質

- 白色で、水に溶けにくい
- 両性酸化物/水酸化物
酸・(強)塩基と反応
 Al^{3+} は OH^- と錯イオンを形成し、 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： $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O} \cdot \text{AlK}(\text{SO}_4)_2$

13.3.1 性質

- 白色で、水に溶ける固体
- 酸性

$$\left(\text{Al}^{3+} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_2^{+} + \text{H}^{+} \quad K_1 = 1.1 \times 10^{-5} \text{ mol/L} \right)$$
- Al^{3+} は価数が大きい陽イオン
粘土 (負の疎水コロイド) で濁った水の浄水処理 (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

14 スズ・鉛

14.1 単体

14.1.1 性質

化学式	682	683
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 元素	
用途	685 (鉄にメッキ) 688 の遮蔽	686 電池の 687 極

【合金】

Cu + Sn…[689](#)

Sn + Pb…[690](#)

14.1.2 製法

- 錫石 SnO_2 にコークスを混ぜて加熱 [工業的製法](#) [スズ](#)

- 方鉛鉱 PbS を焙焼してから、コークスを混ぜて加熱 [工業的製法](#) [鉛](#)

14.1.3 反応

- 鉛と[691](#) 酸

- 鉛と[692](#) 酸

- スズと[693](#)

- 鉛蓄電池における反応

{ 正極
負極

14.2 塩化スズ（Ⅱ）

14.2.1 性質

[694](#) 剤として働く

14.2.2 製法

スズと[695](#)

14.2.3 反応

塩化鉄（Ⅲ）水溶液と塩化スズ（Ⅱ）水溶液

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 (工業的製法) (スズ)



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



14.1.3 反応

- 鉛と(691)希硝酸



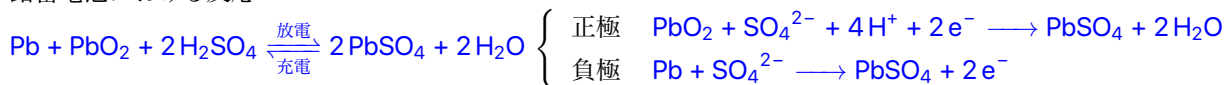
- 鉛と(692)酢酸



- スズと(693)塩酸



- 鉛蓄電池における反応



14.2 塩化スズ (II)

14.2.1 性質

(694)還元剤として働く



14.2.2 製法

スズと(695)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 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** 紙を用いた**698** の検出 (**699** 色)

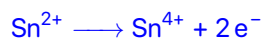
備考 塩化スズ (IV) 水溶液と硫化水素



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)
(701) ・ (702) : 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) く、融点が(704) 金属
- d 軌道の一部の電子も価電子
- 化合物やイオンは(705) 色のものが多い
- 安定な(706) を形成しやすい (707))
- 単体や化合物は(708) 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 $\left\{ \begin{array}{l} (709) \\ (710) \end{array} \right\}$ 剤

15 鉄・コバルト・ニッケル

15.1 鉄

15.1.1 性質

- 常温で(711) 性
- イオン化傾向が水素より(712) い
(713) と反応 ((714) には(715) となり反応しない)
- (716) と反応して(717) な(718) が生成（酸化被膜）
- 湿った空気中では(719) い(720) を生成

酸化鉄（Ⅲ）	Fe ₂ O ₃	(721) 色	(722) 性	
四酸化三鉄	Fe ₃ O ₄	(723) 色	(724) 性	
酸化鉄（Ⅱ）	FeO	(725) 色	(726) 性	
軟鋼	(727)	(728)	(729)	KS 磁石鋼
C0.2% 未満	C2% 未満	C2% 以上	(730)	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

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 $\left\{ \begin{array}{l} (709)\text{還元} \\ (710)\text{酸化} \end{array} \right\}$ 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

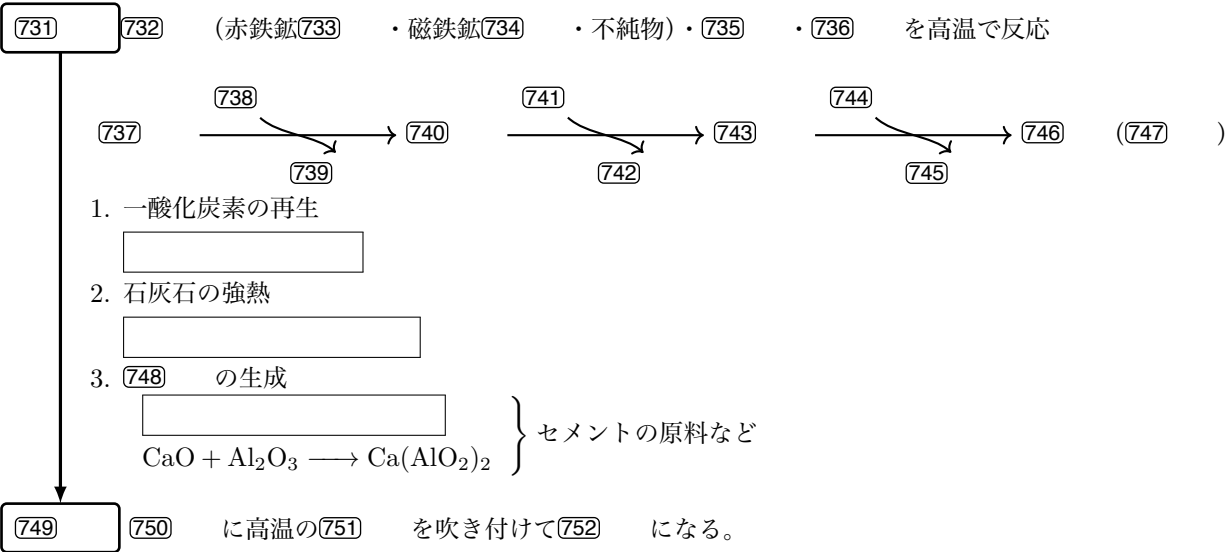
酸化鉄（Ⅲ）	Fe ₂ O ₃	(721)赤褐色	(722)常磁性
四酸化三鉄	Fe ₃ O ₄	(723)黒色	(724)強磁性
酸化鉄（Ⅱ）	FeO	(725)黒色	(726)発火性

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
- 高温の水蒸気との反応
- 微量に含まれる炭素・鉄・水による(753) (754) などが溶けていたら反応速度上昇)
正極 (755)
負極 (756)
- (757) の生成
 (758) 色)
- 速やかに(759) が酸素により酸化
- (760) の脱水
 $\text{Fe}(\text{OH})_3 \longrightarrow \text{FeO}(\text{OH}) + \text{H}_2\text{O}$ (酸化水酸化鉄（Ⅲ）濃橙色)
 $2\text{Fe}(\text{OH})_3 \longrightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O} + (3-n)\text{H}_2\text{O}$ (761) 色)
(エバンスの実験)

15.2 硫酸鉄（Ⅱ）7水和物

化学式：(762)

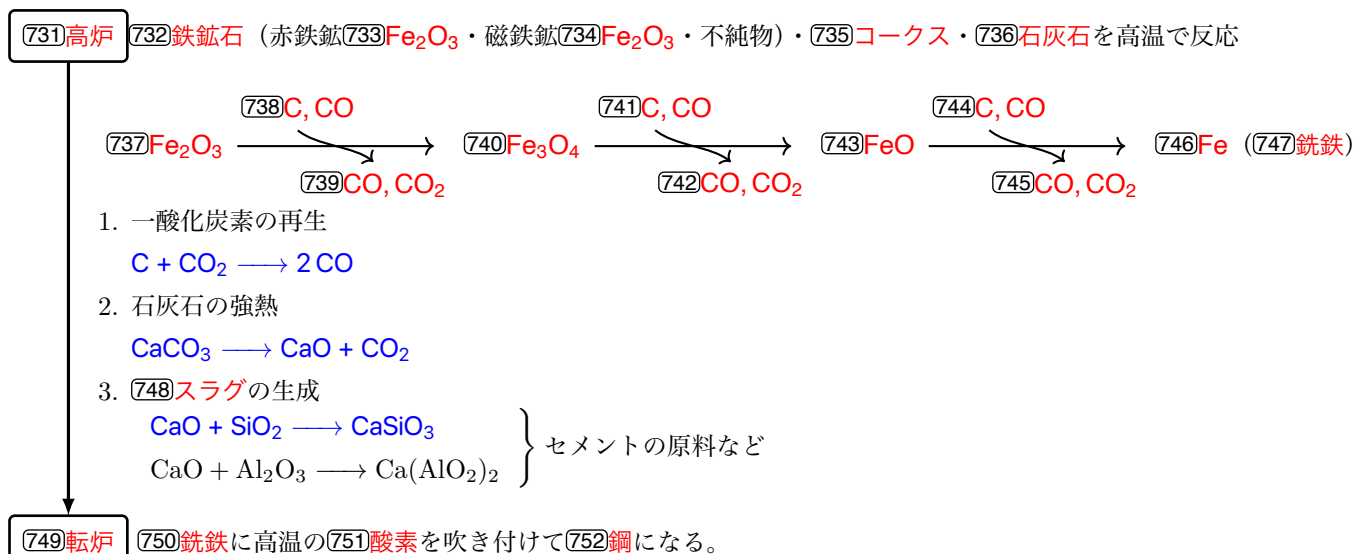
15.2.1 性質

- (763) 色の固体
- Fe^{2+} 半反応式
- 空気中で表面が(764) (765) 色)

15.2.2 製法

鉄に(766) を加えて、蒸発濃縮

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

$$\text{Fe}^{2+} \longrightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$$
- 空気中で表面が(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：[767](#)

15.3.1 性質

- [768](#) 色で[769](#) 性のある固体
- [770](#)
（ [771](#) $K_1 = 6.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ ）

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	K ₄ [Fe(CN) ₆]	K ₃ [Fe(CN) ₆]	H ₂ S（酸性）	KSCN
Fe ²⁺	772	Fe ₂ [Fe(CN) ₆]↓	KFe[Fe(CN) ₆]↓	773	774
775 色	776 色	777 色	778 色	779 色	780 色
Fe ³⁺	781	KFe[Fe(CN) ₆]↓	Fe[Fe(CN) ₆]aq	782	[Fe(NCS)] ²⁺
783 色	784 色	785 色	786 色	787 色	788 色

- Fe²⁺, Fe³⁺ は、[789](#) とも[790](#) とも錯イオンを形成しない
- ベルリンブルーとターンブルブルーは[791](#)

15.5 塩化コバルト（Ⅱ）

化学式：[792](#)

15.5.1 性質

- [793](#) 色で[794](#) 性のある固体
- 6水和物は[795](#) 色
- 塩化コバルト紙を用いた[796](#) の検出
- CO³⁺ は[797](#) と錯イオンを形成

15.6 硫酸ニッケル（Ⅱ）

化学式：[798](#)

- 黄緑色で潮解性のある固体
- 6水和物は青緑色
- Ni²⁺ は[799](#) と錯イオンを形成

16 銅

16.1 銅

16.1.1 性質

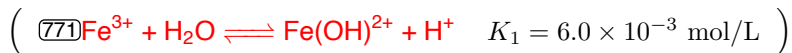
- [800](#) 色の金属光沢

15.3 塩化鉄（Ⅲ）6水和物

化学式：(767)FeCl₃ · 6H₂O

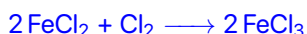
15.3.1 性質

- (768)黄褐色で(769)潮解性のある固体
- (770)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	K ₄ [Fe(CN) ₆]	K ₃ [Fe(CN) ₆]	H ₂ S（酸性）	KSCN
Fe ²⁺ (775)淡緑色	(772)Fe(OH) ₂ ↓ (776)緑白色	Fe ₂ [Fe(CN) ₆] ↓ (777)青白色	KFe[Fe(CN) ₆] ↓ (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)Fe(OH) ₃ ↓ (784)赤褐色	KFe[Fe(CN) ₆] ↓ (785)濃青色	Fe[Fe(CN) ₆] aq (786)暗褐色	(782)Fe ²⁺ aq (787)淡緑色	[Fe(NCS)] ²⁺ (788)血赤色

- Fe²⁺, Fe³⁺ は、(789)OH⁻ と (790)NH₃ 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(791)同一物質

15.5 塩化コバルト（Ⅱ）

化学式：(792)CoCl₂

15.5.1 性質

- (793)青色で(794)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
- CO³⁺ は(797)NH₃ と錯イオンを形成

15.6 硫酸ニッケル（Ⅱ）

化学式：(798)NiSO₄

- 黄緑色で潮解性のある固体
- 6水和物は青緑色
- Ni²⁺ は(799)NH₃ 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
 - 展性・延性が802く、電気・熱伝導性が803い
 - イオン化傾向が水素より804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（805に溶解）が生成
806色の酸化銅（Ⅰ）乾・807色の錆（808）湿

16.1.2 製法

銅の製錬 粗銅・809 純銅 工業的製法

810 811 (812)・813・814・815 を高温で反応

816 $\begin{matrix} \rightarrow \text{FeSiO}_3 \\ \rightarrow \text{Cu}_2\text{S} \end{matrix}$

817 硫化銅（Ⅰ）に818を吹き付けて、819にする。

$2\text{Cu}_2\text{S} + 3\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{Cu}_2\text{O} + 2\text{SO}_2$
 $\text{Cu}_2\text{S} + 2\text{Cu}_2\text{O} \longrightarrow 6\text{Cu} + \text{SO}_2$

16.1.3 反応

- 銅と希硝酸
[]
- 銅と濃硝酸
[]
- 銅と熱濃硫酸
[]
- 空气中で 1000℃ 未満で加熱して、820色の821生成
[]
- さらに 1000℃ 以上で加熱して、822色の823生成
[]
- 銅イオンから水酸化銅（Ⅱ）の生成
[]
- 水酸化銅（Ⅱ）とアンモニアの反応
[]
- 水酸化銅（Ⅱ）の加熱
[]

16.2 硫酸銅（Ⅱ）5水和物

16.2.1 性質

- 824色の固体（結晶中の825の色）
- 温度による物質変化
$$\begin{matrix} 5\text{水和物} & \xrightarrow{102^\circ\text{C}} & 826 & \xrightarrow{113^\circ\text{C}} & 827 & \xrightarrow{150^\circ\text{C}} & 828 & \xrightarrow{650^\circ\text{C}} & 829 \\ 830\text{色} & \longleftarrow & & & & & 831\text{色} & & \\ & & & + \text{H}_2\text{O (検出)} & & & & & \end{matrix}$$
- Cu^{2+} による832作用（農薬）

- 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
- 空气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）⁸⁰⁷青緑色の錆（⁸⁰⁸緑青）⁸⁰⁹湿

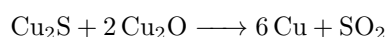
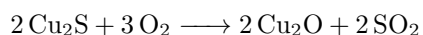
16.1.2 製法

銅の製錬 ⁸¹⁰粗銅・⁸⁰⁹電解精錬 ⁸¹¹純銅 ⁸¹²工業的製法

⁸¹⁰高炉 ⁸¹¹黄銅鉱（⁸¹²CuFeS₂）・⁸¹³コークス・⁸¹⁴石灰石・⁸¹⁵ケイ砂を高温で反応



⁸¹⁷転炉 硫化銅（Ⅰ）に⁸¹⁸酸素を吹き付けて、⁸¹⁹粗銅にする。



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°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

$$\text{Cu}_2^{2+} + 2\text{OH}^- \longrightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow$$
- 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[Cu(H₂O)₄]²⁺の色）
- 温度による物質変化

$$\begin{array}{ccccccc} 5 \text{ 水和物} & \xrightarrow{102^\circ\text{C}} & \text{826} 3 \text{ 水和物} & \xrightarrow{113^\circ\text{C}} & \text{827} 1 \text{ 水和物} & \xrightarrow{150^\circ\text{C}} & \text{828} \text{無水和物} \xrightarrow{650^\circ\text{C}} \text{829} \text{酸化銅（Ⅱ）} \\ \text{830} \text{青色} & \longleftarrow & & & & & \text{831} \text{白色} \\ & & & & & & + \text{H}_2\text{O（検出）} \end{array}$$
- Cu²⁺ による⁸³²殺菌作用（農薬）

- 還元性を持つ有機化合物の検出*6
⑧33色の酸化銅（Ⅰ）が生成

16.2.2 製法

銅に⑧34を掛けてから⑧35。

16.3銅（Ⅱ）イオンの反応

	少々の塩基	過剰の NH ₃	濃塩酸	H ₂ S (⑧36)
Cu ²⁺	⑧37	⑧38	⑧39	⑧40
⑧41色	⑧42色	⑧43色	⑧44色	⑧45色

- 炎色反応：⑧46色
- 加熱すると⑧47
- Cu²⁺は⑧48と錯イオンを形成し、⑧49とは形成しない

16.4銅の合金

⑧50（真鍮）	⑧51（洋白）	⑧52	⑧53	⑧54
⑧55	⑧56	⑧57	⑧58	⑧59（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⑧60、電気・熱伝導性が⑧61
- イオン化傾向が水素より⑧62
⑧63力のある酸（⑧64・⑧65）と反応
- 空気中で酸化しにくいだが、⑧66とは容易に反応

17.1.2 製法

- 銅の電解精錬の⑧67工業的製法
- 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 AgX の感光

17.1.3 反応

- 銀と希硝酸
- 銀と濃硝酸

- 還元性を持つ有機化合物の検出*6

⑧33赤色の酸化銅（Ⅰ）が生成

16.2.2 製法

銅に⑧34濃硫酸をかけてから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 ₂ S (⑧36全液性)
Cu ²⁺ ⑧41青色	⑧37Ca(OH) ₂ ↓ ⑧42青白色	⑧38[Ca(NH ₃) ₄] ²⁺ aq ⑧43深青色	⑧39[CuCl ₄] ²⁻ aq ⑧44黄緑色	⑧40CuS ↓ ⑧45黒色

- 炎色反応：⑧46青緑色
- 加熱すると⑧47分解
- Cu²⁺ は⑧48NH₃ と錯イオンを形成し、⑧49OH⁻ とは形成しない

16.4 銅の合金

⑧50黄銅（真鍮） ⑧55Zn	⑧51洋銀（洋白） ⑧56Zn, Ni	⑧52白銅 ⑧57Ni	⑧53青銅 ⑧58Sn	⑧54ジュラルミン ⑧59Al（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
- 空気中で酸化しにくい、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



ハロゲン化銀 AgX の感光



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

*6 フェーリング液・ベネディクト液

- 銀と熱濃硫酸

- 銀と硫化水素

17.2 銀（Ⅰ）イオンの反応

868 水溶液

	少量の塩基	過剰の NH ₃	HCl	H ₂ S (869 性)	K ₂ CrO ₄
Ag ²⁺	870	871	872	873	874
875 色	876 色	877 色	878 色	879 色	880 色

- 銀と少量の塩基

- 銀と過剰の NH₃

- 銀と HCl

- 銀と H₂S

- 銀と K₂CrO₄

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)	色	(882)	(883)	(884)	(885)
Ag ₂ O↓	(886)	色	(887)	(888)	(889)	(890)
AgCl↓	(891)	色	(892)	(893)	(894)	(895)
AgBr↓	(896)	色	(897)	(898)	(899)	(900)
AgI↓	(901)	色	(902)	(903)	(904)	(905)
溶解している物質	(906)	色	(907)	(908)	(909)	(910)

- 銀と熱濃硫酸



- 銀と硫化水素



17.2 銀 (I) イオンの反応

868硝酸銀水溶液

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

- 銀と少量の塩基



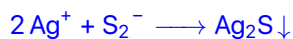
- 銀と過剰の NH_3



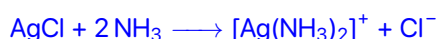
- 銀と HCl



- 銀と H_2S



- 銀と K_2CrO_4



17.3 難溶性化合物の溶解性

		HNO_3	NH_3	NaS_2O_3	KCN
$\text{Ag}_2\text{S} \downarrow$	881黒色	882溶ける	883溶けない	884溶けない	885溶ける
$\text{Ag}_2\text{O} \downarrow$	886褐色	887溶ける	888溶ける	889溶ける	890溶ける
$\text{AgCl} \downarrow$	891白色	892溶けない	893溶ける	894溶ける	895溶ける
$\text{AgBr} \downarrow$	896淡黄色	897溶けない	898やや溶ける	899溶ける	900溶ける
$\text{AgI} \downarrow$	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	907 $\text{Ag}^+(\text{AgNO}_3)$	908 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$	909 $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$	910 $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$

18 クロム・マンガン

化学式：⑨11 ・ ⑨12

18.1 単体

18.1.1 性質

- ⑨13 と反応 (⑨14 は⑨15 には⑨16 となり反応しない)
- 空気中で錆び⑨17 (⑨18) \Rightarrow ⑨19 (Fe, Cr, Ni) **クロム**
空気中で錆び⑨20 **マンガン**
- ⑨21 合金 (Fe, Cr, Mn) (電熱線・発熱体)

18.1.2 反応

- クロムと希塩酸
 (Cr^{2+} ：青色)
- マンガンと希塩酸
 (Mn^{2+} ：⑨22 色)

18.2 クロム酸カリウム・ニクロム酸カリウム

化学式：⑨23 ・ ⑨24

18.2.1 性質

- 二つは平衡状態にある
⑨25 \rightleftharpoons ⑨26
⑨27 性・⑨28 色 ⑨29 性・⑨30 色
- ⑨31 剤として反応 **ニクロム酸カリウム**
 (⑨32 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
- 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)
- 過酸化水素水を加えて加熱

18.2.3 反応

- クロム酸イオンと銀イオン
 (⑨33 色)
- クロム酸イオンと銀イオン
 (⑨34 色)
- クロム酸イオンと銀イオン
 (⑨35 色)

18.3 過マンガン酸カリウム

化学式：⑨36

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 色の固体
- ⑨38 剤として反応

⑨39 酸性

中・塩基性

18.3.2 製法

1. 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

 (MnO_2 : ⑨40 色 / K_2MnO_4 : ⑨41 色)

2. (a) 酸性にする

 (MnO_4^{2-} : ⑨42 色 / MnO_4^- : ⑨43 色)

- (b) 電気分解する

(⑨44 極)

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. マンガン (III) イオンを含む水溶液に塩基を加える

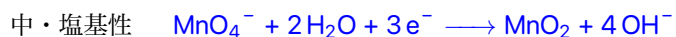
2. 水酸化マンガン (II) が水溶液中の溶存酸素と速やかに反応

3. 希硫酸を加える

 (⑨45 剤)

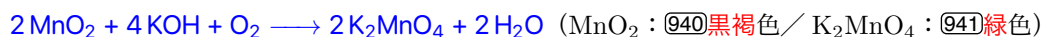
18.3.1 性質

- ⑨37黒紫色の固体
- ⑨38酸化剤として反応

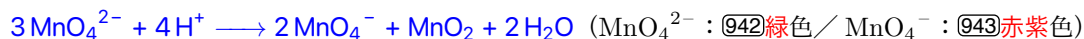


18.3.2 製法

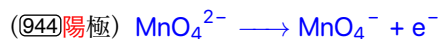
1. 酸化マンガン（IV）と水酸化ナトリウムを混ぜて空気中で加熱



2. (a) 酸性にする



- (b) 電気分解する



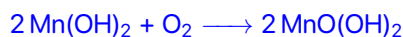
18.4 マンガンの安定な酸化数

残留酸素の定量（ウィンクラー法）

1. マンガン（III）イオンを含む水溶液に塩基を加える



2. 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



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① につめて、液体の乾燥剤は② に入れて使用。

性質	乾燥剤	化学式	対象	対象外（不適）
酸性	③	④	酸性・中性	塩基性の気体（⑤ ）
	⑥	⑦		+⑧ （⑨ ）
中性	⑩	⑪	ほとんど全て	⑫
	⑬	⑭		特になし
塩基性	⑮	⑯	中性・塩基性	酸性の気体
	⑰	⑱		⑲ , ⑳ , ㉑ , ㉒ , ㉓ , ㉔

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②⑤ 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

 例炭酸水素マグネシウム水溶液

 ）
 煮沸しても軟化不可能（永久硬水）

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+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 $SiO_2 \cdot nH_2O$		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
	⑳ソーダ石灰	㉓ 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㉔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

$$Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow CaCO_3 \downarrow + H_2O + CO_2$$

例 炭酸水素マグネシウム水溶液

$$Mg(HCO_3)_2 \longrightarrow MgCO_3 \downarrow + H_2O + CO_2$$

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) (48) 色	(42) (49) 色	(43) (50) 色	(44) (51) 色	(45) (52) 色	(46) (53) 色
Sr ²⁺	(54) (61) 色	(55) (62) 色	(56) (63) 色	(57) (64) 色	(58) (65) 色	(59) (66) 色	(60) (67) 色
Ca ²⁺	(68) (75) 色	(69) (76) 色	(70) (77) 色	(71) (78) 色	(72) (79) 色	(73) (80) 色	(74) (81) 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) (107) 色	(101) (108) 色	(102) (109) 色
Al ³⁺	(110) (117) 色	(111) (118) 色	(112) (119) 色	(113) (120) 色	(114) (121) 色	(115) (122) 色	(116) (123) 色
Mn ²⁺	(124) (131) 色	(125) (132) 色	(126) (133) 色	(127) (134) 色	(128) (135) 色	(129) (136) 色	(130) (137) 色
Zn ²⁺	(138) (145) 色	(139) (146) 色	(140) (147) 色	(141) (148) 色	(142) (149) 色	(143) (150) 色	(144) (151) 色
Cr ³⁺	(152) (159) 色	(153) (160) 色	(154) (161) 色	(155) (162) 色	(156) (163) 色	(157) (164) 色	(158) (165) 色
Fe ²⁺	(166) (173) 色	(167) (174) 色	(168) (175) 色	(169) (176) 色	(170) (177) 色	(171) (178) 色	(172) (179) 色
Fe ³⁺	(180) (187) 色	(181) (188) 色	(182) (189) 色	(183) (190) 色	(184) (191) 色	(185) (192) 色	(186) (193) 色
Cd ²⁺	(194) (201) 色	(195) (202) 色	(196) (203) 色	(197) (204) 色	(198) (205) 色	(199) (206) 色	(200) (207) 色
Co ²⁺	(208) (215) 色	(209) (216) 色	(210) (217) 色	(211) (218) 色	(212) (219) 色	(213) (220) 色	(214) (221) 色
Ni ²⁺	(222) (229) 色	(223) (230) 色	(224) (231) 色	(225) (232) 色	(226) (233) 色	(227) (234) 色	(228) (235) 色
Sn ²⁺	(236) (243) 色	(237) (244) 色	(238) (245) 色	(239) (246) 色	(240) (247) 色	(241) (248) 色	(242) (249) 色
Pb ²⁺	(250) (257) 色	(251) (258) 色	(252) (259) 色	(253) (260) 色	(254) (261) 色	(255) (262) 色	(256) (263) 色
Cu ²⁺	(264) (271) 色	(265) (272) 色	(266) (273) 色	(267) (274) 色	(268) (275) 色	(269) (276) 色	(270) (277) 色
Hg ²⁺	(278) (285) 色	(279) (286) 色	(280) (287) 色	(281) (288) 色	(282) (289) 色	(283) (290) 色	(284) (291) 色
Hg ₂ ²⁺	(292) (299) 色	(293) (300) 色	(294) (301) 色	(295) (302) 色	(296) (303) 色	(297) (304) 色	(298) (305) 色
Ag ⁺	(306)	(307)	(308)	(309)	(310)	(311)	(312)

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 ⁺	<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 ²⁺	<u>40</u> — <u>47</u> —色	<u>41</u> BaSO ₄ <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 ²⁺	<u>54</u> — <u>61</u> —色	<u>55</u> SrSO ₄ <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 ²⁺	<u>68</u> — <u>75</u> —色	<u>69</u> CaSO ₄ <u>76</u> 白色	<u>70</u> — <u>77</u> —色	<u>71</u> — <u>78</u> —色	<u>72</u> Ca(OH) ₂ <u>79</u> 白色	<u>73</u> Ca(OH) ₂ <u>80</u> 白色	<u>74</u> Ca(OH) ₂ <u>81</u> 白色
Na ⁺	<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 ²⁺	<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) ₂ <u>107</u> 白色	<u>101</u> Mg(OH) ₂ <u>108</u> 白色	<u>102</u> — <u>109</u> —色
Al ³⁺	<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) ₃ <u>120</u> 白色	<u>114</u> Al(OH) ₃ <u>121</u> 白色	<u>115</u> [Al(OH) ₄] ⁻ <u>122</u> 白色	<u>116</u> Al(OH) ₃ <u>123</u> 白色
Mn ²⁺	<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) ₂ <u>135</u> 白色	<u>129</u> Mn(OH) ₂ <u>136</u> 白色	<u>130</u> Mn(OH) ₂ <u>137</u> 白色
Zn ²⁺	<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) ₂ <u>149</u> 白色	<u>143</u> [Zn(OH) ₄] ²⁻ <u>150</u> 無色	<u>144</u> [Zn(NH ₃) ₄] ²⁺ <u>151</u> 無色
Cr ³⁺	<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) ₃ <u>163</u> 灰緑色	<u>157</u> [Cr(OH) ₄] ⁻ <u>164</u> 緑色	<u>158</u> Cr(OH) ₃ <u>165</u> 灰緑色
Fe ²⁺	<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) ₂ <u>177</u> 緑白色	<u>171</u> Fe(OH) ₂ <u>178</u> 緑白色	<u>172</u> Fe(OH) ₂ <u>179</u> 緑白色
Fe ³⁺	<u>180</u> — <u>187</u> —色	<u>181</u> — <u>188</u> —色	<u>182</u> Fe ²⁺ <u>189</u> 淡緑色	<u>183</u> FeS <u>190</u> 黒色	<u>184</u> Fe(OH) ₃ <u>191</u> 赤褐色	<u>185</u> Fe(OH) ₃ <u>192</u> 赤褐色	<u>186</u> Fe(OH) ₃ <u>193</u> 赤褐色
Cd ²⁺	<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) ₂ <u>205</u> 白色	<u>199</u> Cd(OH) ₂ <u>206</u> 白色	<u>200</u> [Cd(NH ₃) ₄] ²⁻ <u>207</u> 無色
Co ²⁺	<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) ₂ <u>218</u> 青色	<u>212</u> Co(OH) ₂ <u>219</u> 青色	<u>213</u> Co(OH) ₂ <u>220</u> 青色	<u>214</u> Co(OH) ₂ <u>221</u> 青色
Ni ²⁺	<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) ₂ <u>232</u> 緑白色	<u>226</u> Ni(OH) ₂ <u>233</u> 緑白色	<u>227</u> Ni(OH) ₂ <u>234</u> 緑白色	<u>228</u> [Ni(NH ₃) ₆] ²⁺ <u>235</u> 青紫色
Sn ²⁺	<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) ₂ <u>247</u> 白色	<u>241</u> [Sn(OH) ₄] ²⁻ <u>248</u> 白色	<u>242</u> Sn(OH) ₂ <u>249</u> 白色
Pb ²⁺	<u>250</u> PbCl <u>257</u> 白色	<u>251</u> PbSO ₄ <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) ₂ <u>261</u> 白色	<u>255</u> [Pb(OH) ₄] ²⁻ <u>262</u> 無色	<u>256</u> Pb(OH) ₂ <u>263</u> 白色
Cu ²⁺	<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) ₂ <u>275</u> 青白色	<u>269</u> Cu(OH) ₂ <u>276</u> 青白色	<u>270</u> [Cu(NH ₃) ₄] ²⁺ <u>277</u> 深青色
Hg ²⁺	<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 ₂ ²⁺	<u>292</u> Hg ₂ Cl ₂ <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 ⁺	<u>306</u> AgCl	<u>307</u> —	<u>308</u> Ag ₂ S	<u>309</u> Ag ₂ S	<u>310</u> Ag ₂ O	<u>311</u> Ag ₂ O	<u>312</u> [Ag(NH ₃) ₂] ⁺

	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
	③13 色	③14 色	③15 色	③16 色	③17 色	③18 色	③19 色

D 錯イオンの命名法

(主に遷移) 金属イオンに対して、③20 を持つ③21 や③22 が③23 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	Ag ⁺ Cu ⁺	Cu ²⁺ Zn ²⁺	Fe ²⁺ Fe ³⁺ Co ³⁺ Ni ²⁺ Cr ³⁺ Al ³⁺
配位数	③24	③25	③26

③27 系			③28 形		③29 形		③30 形		
数	1	2	3	4	5	6	7	8	
数詞	③31	③32 ③39	③33 ③40	③34	③35	③36	③37	③38	

配位子	NH ₃	CN ⁻	H ₂ O	OH ⁻	Cl ⁻	H ₂ N - CH ₂ CH ₂ - NH ₂
名称	③41	③42	③43	③44	③45	③46

エチレンジアミン ... 1 分子あたり 2 か所で③47 結合する (2 座配位子) (③48 錯体)

- [Zn(OH)₄]²⁻
③49
- [Zn(NH₃)₄]²⁺
③50
- [Ag(S₂O₃)₂]³⁻
③51
- [Cu(H₂NCH₂CH₂NH₂)]²⁺
③52

	Cl^-	SO_4^{2-}	H_2S	H_2S	OH^-	OH^-	NH_3
			酸性	中・塩基性	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	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

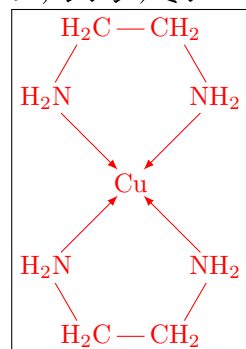
③29正四面体形

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

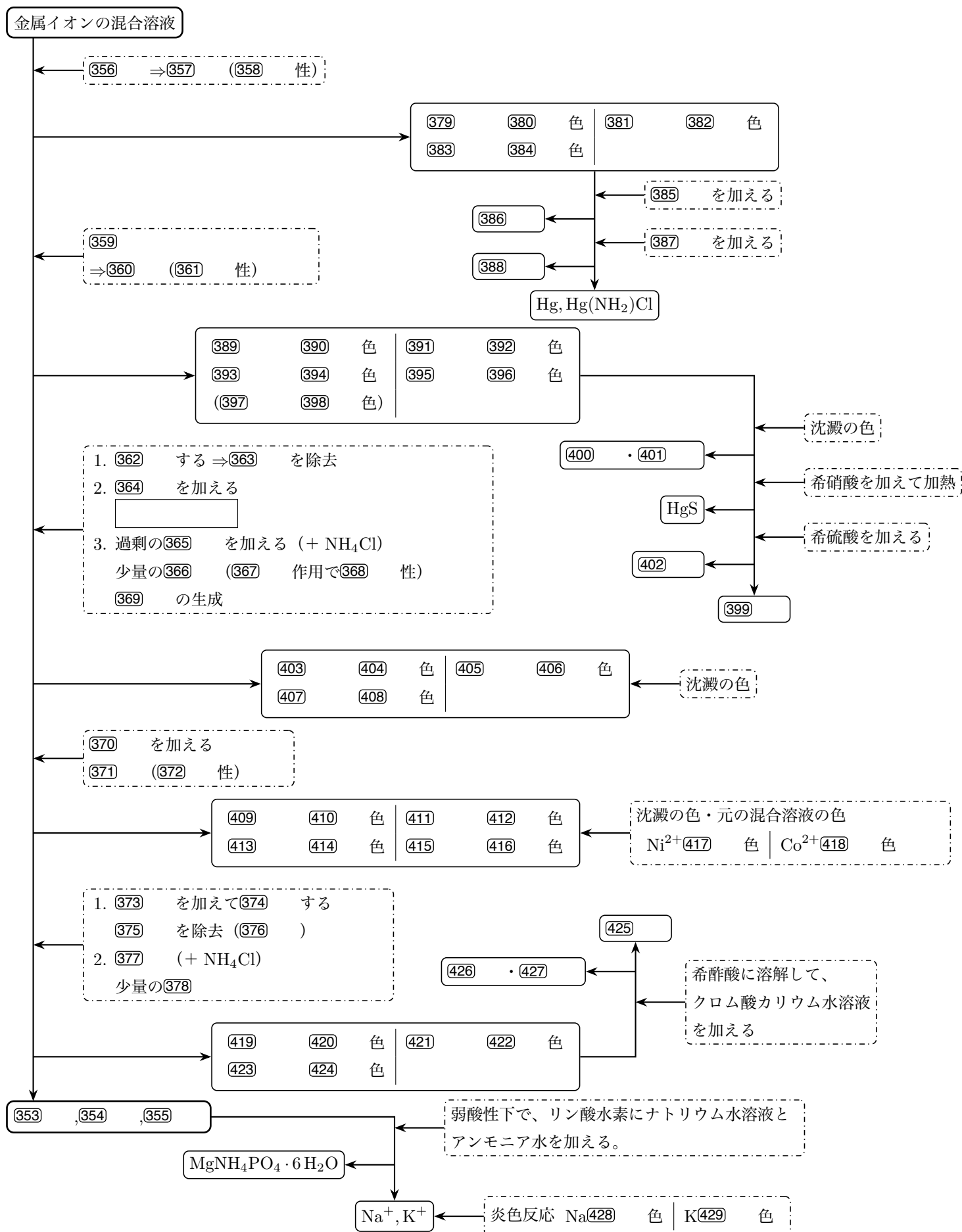
配位子	NH_3	CN^-	H_2O	OH^-	Cl^-	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{NH}_2$
名称	③41アンミン	③42シアニド	③43アクア	③44ヒドロキシド	③45クロリド	③46エチレンジアミン

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



E 金属イオンの系統分離

