

無機化学

目次

第I部

遷移元素

d 軌道・f 軌道（内殻）の秋に電子が入っていき、最外殻電子の数は①1 か 2

(②ランタノイド・③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。

1 性質

- 単体は密度が④大きく、融点が⑤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⑥白色のものが多い
- 安定な⑦錯イオンを形成しやすい（⑧d 軌道に空きがある）
- 単体や化合物は⑨触媒になるものが多い*1
- 酸化数が $\left\{ \begin{array}{l} \text{小さい} \\ \text{大きい} \end{array} \right\}$ 酸化物は $\left\{ \begin{array}{l} \text{⑩還元} \\ \text{⑪酸化} \end{array} \right\}$ 剤

2 鉄・コバルト・ニッケル

2.1 鉄

2.1.1 性質

- 常温で⑫強磁性
- イオン化傾向が水素より⑬大きい
- ⑭強酸と反応（⑮濃硝酸には⑯不動態となり反応しない）
- ⑰高温の水蒸気と反応して⑱緻密な⑲黒錆が生成（酸化被膜）
- 湿った空気中では⑳粗い㉑赤錆を生成

酸化鉄（Ⅲ）	Fe ₂ O ₃	⑫赤褐色	⑬常磁性
四酸化三鉄	Fe ₃ O ₄	⑭黒色	⑮強磁性
酸化鉄（Ⅱ）	FeO	⑯黒色	⑰発火性

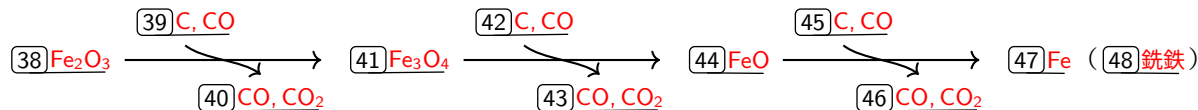
軟鋼	⑱鉄鋼	⑲銑鉄	⑳ステンレス鋼	KS 磁石鋼
C0.2% 未満	C2% 未満	C2% 以上	㉑Cr, Ni	Co, W, Cr
加工しやすい 鉄筋・鉄骨	硬くて弾性あり レール・バネ	硬くてもろい 鋳物	錆びにくい キッチン	人工永久磁石

*1 ①例 V₂O₅, MnO₂, Fe₃O₄, Pt

2.1.2 製法

鉄の製錬 [工業的製法](#)

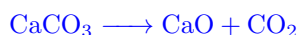
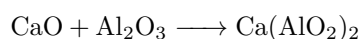
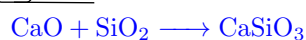
[32]高炉 **[33]鉄鉱石**（赤鉄鉱**[34]** Fe_2O_3 ・磁鉄鉱**[35]** Fe_2O_3 ・不純物）・**[36]コークス**・**[37]石灰石**を高温で反応



1. 一酸化炭素の再生



2. 石灰石の強熱

3. **[49]スラグ**の生成

} セメントの原料など

[50]転炉 **[51]銑鉄**に高温の**[52]酸素**を吹き付けて**[53]鋼**になる。

2.1.3 反応

- 塩酸との反応



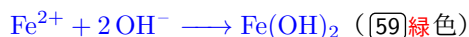
- 高温の水蒸気との反応



- 微量に含まれる炭素・鉄・水による**[54]局部電池**（**[55]食塩**などが溶けていたら反応速度上昇）



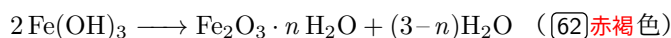
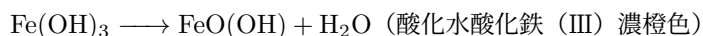
- [58]水酸化鉄（Ⅱ）**の生成



- 速やかに**[60]水酸化鉄（Ⅱ）**が酸素により酸化



- [61]水酸化鉄（Ⅲ）**の脱水



（エバンスの実験）

2.2 硫酸鉄（Ⅱ）7水和物

化学式：**[63]** $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

2.2.1 性質

- [64]青緑**色の固体

- Fe^{2+} 半反応式



- 空気中で表面が**[66]** $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ （**[67]黄褐**色）

2.2.2 製法

鉄に〔68〕希硫酸を加えて、蒸発濃縮



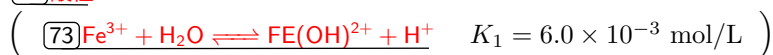
2.3 塩化鉄(Ⅲ) 6水和物

化学式：〔69〕 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

2.3.1 性質

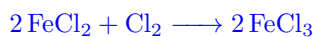
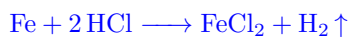
- 〔70〕黄褐色で〔71〕潮解性のある固体

- 〔72〕酸性



2.3.2 製法

鉄に希塩酸を加えてから、塩素を通じる。



2.4 鉄イオンの反応

	NaOH	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$		
Fe^{2+} 〔77〕淡緑色	〔74〕 $\text{Fe(OH)}_2 \downarrow$ 〔78〕緑白色	$\text{Fe}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6] \downarrow$ 〔79〕青白色	$\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6] \downarrow$ 〔80〕濃青色	〔75〕変化なし 〔81〕淡緑色	〔76〕変化なし 〔82〕淡緑色
Fe^{3+} 〔85〕黄褐色	〔83〕 $\text{Fe(OH)}_3 \downarrow$ 〔86〕赤褐色	$\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6] \downarrow$ 〔87〕濃青色	$\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]\text{aq}$ 〔88〕暗褐色	〔84〕 Fe^{2+}aq 〔89〕淡緑色	$[\text{Fe}(\text{NCS})]^{2+}$ 〔90〕血赤色

- Fe^{2+} , Fe^{3+} は、〔91〕 OH^- とも〔92〕 OH^- 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〔93〕同一物質

2.5 塩化コバルト(Ⅱ)

化学式：〔94〕 CoCl_2

2.5.1 性質

- 〔95〕青色で〔96〕潮解性のある固体
- 6水和物は〔97〕淡赤色
- 塩化コバルト紙を用いた〔98〕水の検出
- CO^{3+} は〔99〕 NH_3 と錯イオンを形成

2.6 硫酸ニッケル(Ⅱ)

化学式：〔100〕 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〔101〕 NH_3 と錯イオンを形成

3 銅

3.1 銅

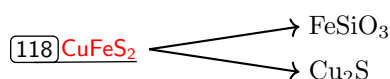
3.1.1 性質

- (102)赤色の金属光沢
- 他の金属とさまざまな色の (103)合金
- 展性・延性が (104)大きく、電気・熱伝導性が (105)高い
- イオン化傾向が水素より (106)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（(107)酸に溶解）が生成
(108)赤色の酸化銅（I）(乾)・(109)青緑の錆（(110)緑青）(湿)

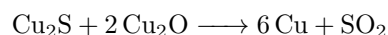
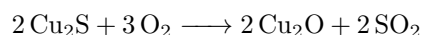
3.1.2 製法

銅の製錬 (粗銅)・(111)電解精錬 (純銅) (工業的製法)

(112)高炉 (113)黄銅鉱 ((114)CuFeS₂)・(115)コークス・(116)石灰石・(117)ケイ砂を高温で反応



(119)転炉 硫化銅（I）に (120)酸素を吹き付けて、(121)粗銅にする。



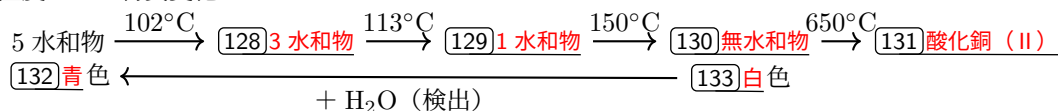
3.1.3 反応

- 銅と希硝酸
 $3Cu + 8HNO_3 \longrightarrow 3Cu(NO_3)_2 + 4H_2O + 2NO \uparrow$
- 銅と濃硝酸
 $Cu + 4HNO_3 \longrightarrow Cu(NO_3)_2 + 2H_2O + 2NO_2 \uparrow$
- 銅と熱濃硫酸
 $Cu + 2H_2SO_4 \longrightarrow CuSO_4 + 2H_2O + SO_2 \uparrow$
- 空気中で 1000°C 未満で加熱して、(122)黒色の (123)酸化銅（II）生成
 $2Cu + O_2 \longrightarrow 2CuO$
- さらに 1000°C 以上で加熱して、(124)赤色の (125)酸化銅（I）生成
 $4CuO \longrightarrow 2Cu_2O + O_2$
- 銅イオンから水酸化銅（II）の生成
 $Cu_2^{+} + 2OH^{-} \longrightarrow Cu(OH)_2 \downarrow$
- 水酸化銅（II）とアンモニアの反応
 $Cu(OH)_2 + 4NH_3 \longrightarrow [Cu(NH_3)_4]^{2+} + 2OH^{-}$
- 水酸化銅（II）の加熱
 $Cu(OH)_2 \longrightarrow CuO + H_2O$

3.2 硫酸銅（Ⅱ）5水和物

3.2.1 性質

- (126)青色の固体（結晶中の(127) $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ の色）
- 温度による物質変化



- Cu^{2+} による(134)殺菌作用（農薬）
- 還元性を持つ有機化合物の検出*2
(135)赤色の酸化銅（Ⅰ）が生成

3.2.2 製法

銅に(136)濃硫酸をかけてから(137)加熱。

3.2.3 反応

3.3 銅（Ⅱ）イオンの反応

	少々の塩基	過剰の NH_3	濃塩酸	H_2S （(138)全液性）
Cu^{2+}	(139) $\text{Ca}(\text{OH})_2 \downarrow$	(140) $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \text{ aq}$	(141) $[\text{CuCl}_4]^{2-} \text{ aq}$	(142) $\text{CuS} \downarrow$
(143)青色	(144)青白色	(145)深青色	(146)黄緑色	(147)黒色

- 炎色反応：(148)青緑色
- 加熱すると(149)分解
- Cu^{2+} は(150) NH_3 と錯イオンを形成し、(151) OH^- とは形成しない

3.4 銅の合金

(152)黄銅（真鍮）	(153)洋銀（洋白）	(154)白銅	(155)青銅	(156)ジュラルミン
(157)Zn	(158)Zn, Ni	(159)Ni	(160)Sn	(161)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

4 銀

4.1 銀

4.1.1 性質

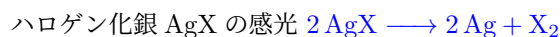
- 展性・延性が(162)大きく、電気・熱伝導性が(163)最も高い
- イオン化傾向が水素より(164)小さい
(165)酸化力のある酸（(166)硝酸・(167)熱濃硫酸）と反応
- 空気中で酸化しにくい、(168)硫化水素とは容易に反応

4.1.2 製法

- 銅の電解精錬の(169)陽極泥 工業的製法

*2 フェーリング液・ベネディクト液

- 銀の化合物の熱分解・光分解



4.1.3 反応

- 銀と希硝酸



- 銀と濃硝酸



- 銀と熱濃硫酸



- 銀と硫化水素



4.2 銀（I）イオンの反応

[170]硝酸銀 水溶液

	少量の塩基	過剰の NH ₃	HCl	H ₂ S ([171]全液性)	K ₂ CrO ₄
Ag ²⁺	[172]Ag ₂ O↓	[173][Ag(NH ₃) ₂] ⁺	[174]AgCl↓	[175]Ag ₂ S↓	[176]Ag ₂ CrO ₄ ↓
[177]無色	[178]褐色	[179]無色	[180]白色	[181]黒色	[182]赤褐色

- 銀と少量の塩基



- 銀と過剰の NH₃



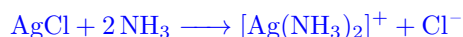
- 銀と HCl



- 銀と H₂S



- 銀と K₂CrO₄



4.3 難溶性化合物の溶解性

		HNO ₃	NH ₃	NaS ₂ O ₃	KCN
Ag ₂ S↓	[183]黒色	[184]溶ける	[185]溶けない	[186]溶けない	[187]溶ける
Ag ₂ O↓	[188]褐色	[189]溶ける	[190]溶ける	[191]溶ける	[192]溶ける
AgCl↓	[193]白色	[194]溶けない	[195]溶ける	[196]溶ける	[197]溶ける
AgBr↓	[198]淡黄色	[199]溶けない	[200]やや溶ける	[201]溶ける	[202]溶ける
AgI↓	[203]黄色	[204]溶けない	[205]溶けない	[206]溶ける	[207]溶ける
溶解している物質	[208]無色	[209]Ag ⁺ (AgNO ₃)	[210][Ag(NH ₃) ₂] ⁺	[211][Ag(S ₂ O ₃) ₂] ³⁻	[212][Ag(CN) ₂] ⁻

5 クロム・マンガン

5.1 単体

5.2 クロム酸カリウム・ニクロム酸カリウム

5.3 過マンガン酸カリウム

5.4 マンガンの安定な酸化数

第 II 部

APPENDIX

A 気体の乾燥剤

固体の乾燥剤は (213) **U 字管** につめて、液体の乾燥剤は (214) **洗気瓶** に入れて使用。

性質	乾燥剤	化学式	対象	対象外 (不適)
酸性	(215) 十酸化四リン	(216) P₄O₁₀	酸性・中性	塩基性の気体 ((217) NH₃)
	(218) 濃硫酸	(219) H₂SO₄		+ (220) H₂S ((221) 還元剤)
中性	(222) 塩化カルシウム	(223) CaCl₂	ほとんど全て	(224) NH₃
	(225) シリカゲル	(226) SiO₂ · nH₂O		特になし
塩基性	(227) 酸化カルシウム	(228) CaO	中性・塩基性	酸性の気体
	(229) ソーダ石灰	(230) CaO と NaOH		(231) Cl₂ , (232) HCl , (233) H₂S , (234) SO₂ , (235) CO₂ , (236) NO₂

B 水の硬度

水の中の重荷 Ca²⁺ と Mg²⁺ を CaCO₃ 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 (237) **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 錯イオンの命名法

(主に遷移) 金属イオンに対して、(238) **非共有電子対** を持つ (239) **分子** や (240) **イオン** が (241) **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」

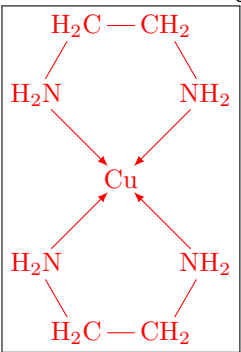
金属イオン	Ag ⁺ Cu ⁺	Cu ²⁺ Zn ²⁺	Fe ²⁺ Fe ³⁺ Co ³⁺ Ni ²⁺ Cr ³⁺ Al ³⁺
配位数	(242) 2	(243) 4	(244) 6

(245) **直線系** (246) **正方形** (247) **正四面体形** (248) **正八面体形**

数	1	2	3	4	5	6	7	8
数詞	(249) モノ	(250) ジ (257) ビス	(251) トリ (258) トリス	(252) テトラ	(253) ペンタ	(254) ヘキサ	(255) ヘプタ	(256) 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	(259) アンミン	(260) シアニド	(261) アクア	(262) ヒドロキシド	(263) クロリド	(264) 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 (265) **配位** 結合する (2 座配位子) ((266) **キレート** 錯体)



- [Zn(OH)₄]²⁻
(267) **テトラヒドロキシド亜鉛 (II) 酸イオン**
- [Zn(NH₃)₄]²⁺
(268) **テトラアンミン亜鉛 (II) イオン**
- [Ag(S₂O₃)₂]³⁻
(269) **ビス (チオスルファト) 銀 (I) イオン**
- [Cu(H₂NCH₂CH₂NH₂)₂]²⁺
(270) **ビス (エチレンジアミン) 銅 (II) イオン**

D 金属イオンの難容性化合物

	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 ⁺	[271]沈殿しない	[272]沈殿しない	[273]沈殿しない	[274]沈殿しない	[275]沈殿しない	[276]沈殿しない	[277]沈殿しない
Ba ²⁺	[278]無色 [285]沈殿しない	[279]無色 [286]BaSO ₄	[280]無色 [287]沈殿しない	[281]無色 [288]沈殿しない	[282]無色 [289]沈殿しない	[283]無色 [290]沈殿しない	[284]無色 [291]沈殿しない
Sr ²⁺	[292]無色 [299]沈殿しない	[293]白色 [300]SrSO ₄	[294]無色 [301]沈殿しない	[295]無色 [302]沈殿しない	[296]無色 [303]沈殿しない	[297]無色 [304]沈殿しない	[298]無色 [305]沈殿しない
Ca ²⁺	[306]無色 [313]沈殿しない	[307]白色 [314]CaSO ₄	[308]無色 [315]沈殿しない	[309]無色 [316]沈殿しない	[310]無色 [317]Ca(OH) ₂	[311]無色 [318]Ca(OH) ₂	[312]無色 [319]Ca(OH) ₂
Na ⁺	[320]無色 [327]沈殿しない	[321]白色 [328]沈殿しない	[322]無色 [329]沈殿しない	[323]無色 [330]沈殿しない	[324]白色 [331]沈殿しない	[325]白色 [332]沈殿しない	[326]白色 [333]沈殿しない
Mg ²⁺	[334]無色 [341]沈殿しない	[335]無色 [342]沈殿しない	[336]無色 [343]沈殿しない	[337]無色 [344]沈殿しない	[338]無色 [345]Mg(OH) ₂	[339]無色 [346]Mg(OH) ₂	[340]無色 [347]沈殿しない
Al ³⁺	[348]無色 [355]沈殿しない	[349]無色 [356]沈殿しない	[350]無色 [357]沈殿しない	[351]無色 [358]Al(OH) ₃	[352]白色 [359]Al(OH) ₃	[353]白色 [360][Al(OH) ₄] ⁻	[354]無色 [361]Al(OH) ₃
Mn ²⁺	[362]無色 [369]沈殿しない	[363]無色 [370]沈殿しない	[364]無色 [371]沈殿しない	[365]白色 [372]MnS	[366]白色 [373]Mn(OH) ₂	[367]白色 [374]Mn(OH) ₂	[368]白色 [375]Mn(OH) ₂
Zn ²⁺	[376]無色 [383]沈殿しない	[377]無色 [384]沈殿しない	[378]無色 [385]沈殿しない	[379]淡桃色 [386]ZnS	[380]白色 [387]Zn(OH) ₂	[381]白色 [388][Zn(OH) ₄] ²⁻	[382]白色 [389]Zn(OH) ₂
Cr ³⁺	[390]無色 [397]沈殿しない	[391]無色 [398]沈殿しない	[392]無色 [399]沈殿しない	[393]白色 [400]沈殿しない	[394]白色 [401]Cr(OH) ₃	[395]無色 [402][Cr(OH) ₄] ⁻	[396]無色 [403]Cr(OH) ₃
Fe ²⁺	[404]無色 [411]沈殿しない	[405]無色 [412]沈殿しない	[406]無色 [413]沈殿しない	[407]無色 [414]FeS	[408]灰緑色 [415]Fe(OH) ₂	[409]緑色 [416]Fe(OH) ₂	[410]灰緑色 [417]Fe(OH) ₂
Fe ³⁺	[418]無色 [425]沈殿しない	[419]無色 [426]沈殿しない	[420]無色 [427]Fe ²⁺	[421]黒色 [428]FeS	[422]緑白色 [429]Fe(OH) ₃	[423]緑白色 [430]Fe(OH) ₃	[424]緑白色 [431]Fe(OH) ₃
Cd ²⁺	[432]無色 [439]沈殿しない	[433]無色 [440]沈殿しない	[434]淡緑色 [441]CdS	[435]黒色 [442]CdS	[436]赤褐色 [443]Cd(OH) ₂	[437]赤褐色 [444]Cd(OH) ₂	[438]赤褐色 [445]Cd(OH) ₂
Co ²⁺	[446]無色 [453]沈殿しない	[447]無色 [454]沈殿しない	[448]黄色 [455]CoS	[449]黄色 [456]Co(OH) ₂	[450]白色 [457]Co(OH) ₂	[451]白色 [458]Co(OH) ₂	[452]無色 [459]Co(OH) ₂
Ni ²⁺	[460]無色 [467]沈殿しない	[461]無色 [468]沈殿しない	[462]黒色 [469]NiS	[463]青色 [470]Ni(OH) ₂	[464]青色 [471]Ni(OH) ₂	[465]青色 [472]Ni(OH) ₂	[466]青色 [473]Ni(OH) ₂
Sn ²⁺	[474]無色 [481]沈殿しない	[475]無色 [482]沈殿しない	[476]黒色 [483]SnS	[477]緑白色 [484]SnS	[478]緑白色 [485]Sn(OH) ₂	[479]緑白色 [486][Sn(OH) ₄] ²⁻	[480]青黒 [487]Sn(OH) ₂
Pb ²⁺	[488]無色 [495]PbCl ₂	[489]無色 [496]PbSO ₄	[490]褐色 [497]PbS	[491]褐色 [498]PbS	[492]白色 [499]Pb(OH) ₂	[493]白色 [500][Pb(OH) ₄] ²⁻	[494]白色 [501]Pb(OH) ₂
Cu ²⁺	[502]白色 [509]沈殿しない	[503]白色 [510]沈殿しない	[504]黒色 [511]CuS	[505]黒色 [512]CuS	[506]白色 [513]Cu(OH) ₂	[507]無色 [514]Cu(OH) ₂	[508]白色 [515]Cu(OH) ₂
Hg ²⁺	[516]無色 [523]沈殿しない	[517]無色 [524]沈殿しない	[518]白色 [525]HgS	[519]白色 [526]HgS	[520]青白色 [527]HgO	[521]青白色 [528]HgO	[522]深青色 [529]HgO
Hg ₂ ²⁺	[530]無色 [537]Hg ₂ Cl ₂	[531]無色 [538]沈殿しない	[532]黒色 [539]HgS	[533]黒色 [540]HgS	[534]黄色 [541]HgO	[535]黄色 [542]HgO	[536]黄色 [543]HgO
	[544]白色	[545]無色	[546]黒色	[547]黒色	[548]黄色	[549]黄色	[550]黄色

		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ S	H ₂ S	OH ⁻	OH ⁻	NH ₃
				酸性	中・塩基性	NH3	過剰	過剰
Ag ⁺	(551) <u>AgCl</u>	(552) <u>沈殿しない</u>	(553) <u>Ag₂S</u>	(554) <u>Ag₂S</u>	(555) <u>Ag₂O</u>	(556) <u>Ag₂O</u>	(557) <u>[Ag(NH₃)₂]⁺</u>	
	(558) <u>白色</u>	(559) <u>無色</u>	(560) <u>黒色</u>	(561) <u>黒色</u>	(562) <u>褐色</u>	(563) <u>褐色</u>	(564) <u>無色</u>	

E 金属イオンの系統分離