

d 軌道元素 (遷移元素) 中の電子の動きに就いて

第 1 報 3d 軌道元素

浅田 幸作

一般に *d* 軌道元素中の電子が極めて移動し易く、従って僅かな勵起エネルギーで昇位又は遷移を起して種々の異なった化合物を作る事はよく知られており、従って酸化数も多く多数の酸化物が安定に存在しているのが特徴である。

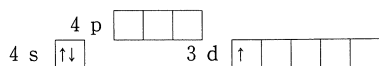
今此電子の動きを追って生成している化合物の構成に就いて考へて見る事にする。

特に錯化合物は此系列の特徴的な化合物でもあるのでそれ等の構成に就いても触れてみたいと思う。

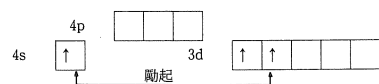
先づ第一報には 3*d* 軌道の元素に就いて考へてみる事にする。

1. Sc 元素に就いて

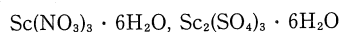
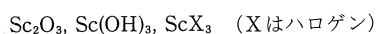
Sc の電子配置は基底状態で



然し是れが僅かな勵起エネルギーで



と 4*s* 電子が昇位し 3*d* に入った形になりそれが *sd*² の混成軌道を作り等価に近い 3 個を作ると考へられ現在見出されている化合物は 3 個のみである様だ。



等で混成軌道の構造が安定なため 1 価, 2 価の化合物は見出されていない様である。

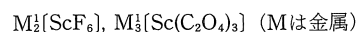
Sc の磁性はまだ測定されていない様だが不對電子の数から恐らく

$$\mu = 1.41 \text{ 前後と考へられる。}$$

尚 μ の計算式は $\sqrt{n(n+2)}$ B. M. n = 不對電子数

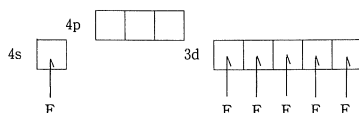
B.M = Bohn magneton μ = 磁気モーメント

d 軌道元素は殆んどすべてが錯体を作り易いので Sc も種々の錯体を作る様である。



その配位結合様式は次の様に考へられる。

Sc^{3+} の $\text{M}_2[\text{ScF}_6]$ では

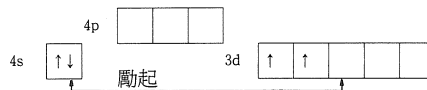


*sd*⁵ 混成軌道正八面体結晶六配位 $\mu = 0$

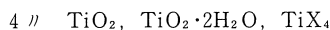
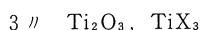
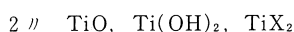
Sc とその他の化合物に就いては現在余り検討されていない様である。(以下混成軌道は混成と略称し、結晶の語も略す)

2. Ti 元素に就いて

Ti の電子配置は



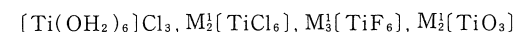
僅かな勵起エネルギーで 4*s* 電子が 3*d* に昇位すると考へられ従って不對電子は 4 個になる可能性が強く化合物は 1, 2, 3, 4 価が考へられる。例へば



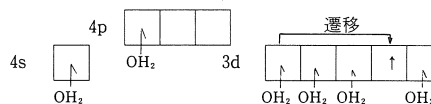
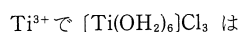
が実在している。

外に B, C, Si, N, P 等との化合物も知られているが 3, 4 価が安定である様だ。

又種々の錯体を作る様で



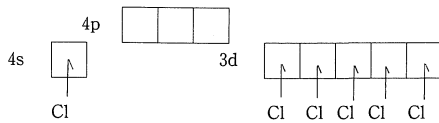
その結合様式は



*Sp*⁴*p* 混成 正八面体六配位 $\mu = 1.73$

ここで特に *d* 電子の特徴である動き易い例として *t*_{2g} → *e*_g 遷移であるが一般に *t*_{2g} → *t*_{2g} 遷移は禁制と言われておりスペクトル吸収で *t*_{2g} → *e*_g が表われている事は何か遷移を助長する因子が働いている様に考へられる。

又Ti⁴⁺の錯体としてM₂[TiCl₆]は

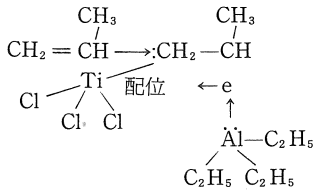


sd⁵混成 正八面体六配位 μ = 0

と考へられる。

Tiは又触媒としての働きをするがこの点に就いては電子の移動による作用と考へられる。

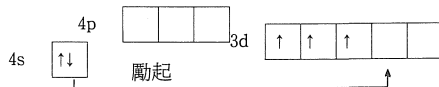
即ち Tiegler-Natta の触媒では



Al: が電子をCH₂=CH₃CHの・C-C・を左へ押込んでπ電子を移動してTi化合物に配位しようとする力が働いて:CH₂となりモノマーのCH基を引き寄せ重合が進んで行くと考へられる。

3. V元素に就いて

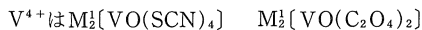
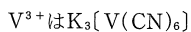
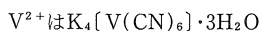
V元素の電子配置は基底状態で



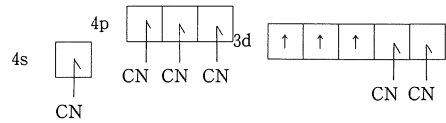
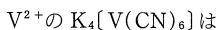
此元素も同様に僅かな励起エネルギーで4s電子が昇位(此場合は4s→te_gでエネルギーが幾分多く必要であろう)してdx²-y²に入る事になり従って1, 2, 3, 4, 5価まで出来る可能性が考へられ現在知られている化合物は

- 1 価 —
- 2 〃 —VCl₂
- 3 〃 V₂O₃, VX₃, V(OH)₃
- 4 〃 VO₂, VX₄, VOSO₄, M₂V₄O₉·7H₂O
- 5 〃 V₂O₅, VOX₃, M₂V₂O₇, M₃VO₄,
VOX₃, Na₄H₂V₄O₁₃,

等多数実在し、複塩形式のものも知られている。錯体としては2, 3, 4 価のものが知られている。即ち



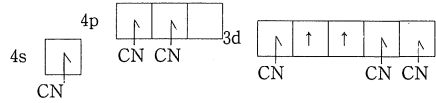
その結合様式は



sd³p³混成 正八面体六配位 μ = 3.88

実測値3.7~4.0

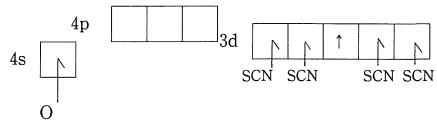
V³⁺のK₃[V(CN)₆]は



sd²p²混成 正八面体六配位 μ = 2.88

実測値2.7~2.9

V⁴⁺のM₂[VO(SCN)₄]は



sd⁴混成 四方ピラミッド五配位 μ = 1.78

と考へられる。

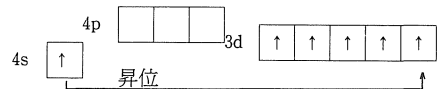
又Vの塩類の結晶が原子価によって色の差が出る。即ち2価は紫色、3価は緑色、4価は淡青色に変るのはd電子の励起エネルギーが非常に小さくて軌道を変り得るので可視部に吸収が移動して来たためと考へられる。

此現象は他のd軌道元素にも同様に表われている。例へば種々の金属塩の結晶の色は

- Crの2価 青色 Mnの2価 バラ色 Feの2価 淡緑色
 - 3価 緑色 3価 暗緑色 3価 赤褐色
 - 4価 黄赤色 4価 赤紫色 4価 赤黒色
- 他のd元素も殆んど同様に色の変化が認められる様だ。

4. Cr元素に就いて

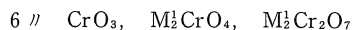
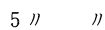
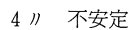
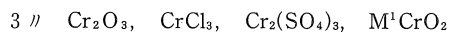
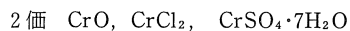
Crは基底状態で既に4s電子が3dz²に昇位して安定に存在している。即ち



従って対電子多く強磁性でμ = 6.93

又多くの原子価の化合物が知られている。

例へば

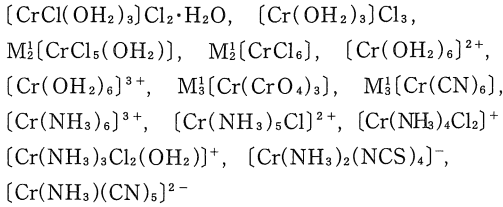


此外に有機クロム化合物も種々実在しているがそれ等は

0 又は 1 価のものでここでは省略する。

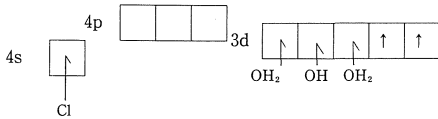
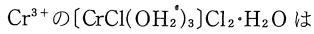
錯体としては殆んど Cr^{3+} の形が知られている。

例へば



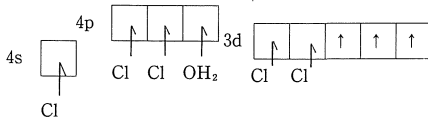
と極めて代表的な化合物を列挙した。

此結合様式は



sd^3 混成 正四面体四配位 $\mu = 2.88$

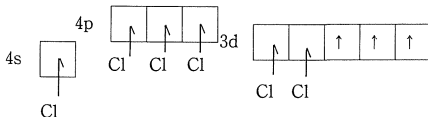
Cr^{3+} の $\text{M}_2[\text{CrCl}_5(\text{OH}_2)]$ は



sd^2p^3 混成 正八面体六配位 高スピン型

$\mu = 3.89$

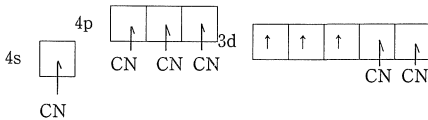
Cr^{3+} の $\text{M}_3[\text{CrCl}_6]$ は



sd^2p^3 混成 正八面体六配位 高スピン型

$\mu = 3.89$

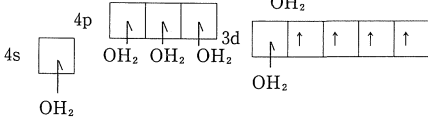
Cr^{3+} の $\text{M}_3[\text{Cr}(\text{CN})_6]$ は



sd^2p^3 混成 正八面体六配位 低スピン型

$\mu = 3.89$ 実測値 3.7~4.0

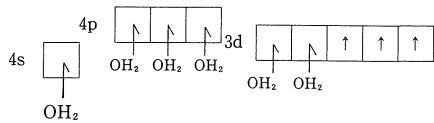
Cr^{2+} の $[\text{Cr}(\text{OH}_2)_6]^{2+}$ は 4d



$\text{sd}^2\text{p}^3\text{d}$ 混成 正八面体六配位 高スピン型

$\mu = 4.90$ 実測値 4.8~5.0

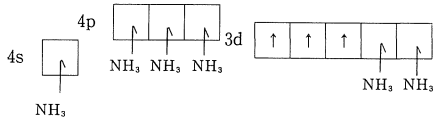
Cr^{3+} の $[\text{Cr}(\text{OH}_2)_6]^{3+}$ は



sd^2p^3 混成 正八面体 高スピン型 $\mu = 3.89$

実測値 3.7~4.0

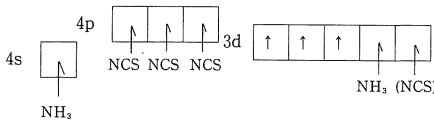
Cr^{3+} の $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ は



sd^2p^3 混成 正八面体 低スピン型 $\mu = 3.89$

実測値 3.7~4.0

Cr^{3+} の $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_2(\text{NCS})_4]^-$ は

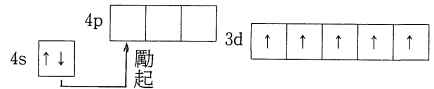


sd^2p^3 混成 正八面体 低スピン型 $\mu = 3.89$

他の錯体も配位子の陰性度によって高スピンか低スピン型に配位するものと考えられる。

5. Mn 元素に就いて

Mn は基底状態で次の電子配置を取る。



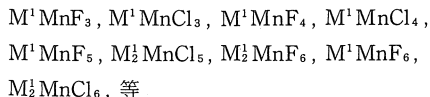
従って Mn の化合物は多く 2, 3, 4, 5, 6, 7 まで知られている。その代表的なものを挙げれば

- 2 価 MnO , $\text{Mn}(\text{OH})_2$, $\text{MnX}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
- 3 〃 Mn_2O_3 , $\text{MnO}(\text{OH})$, MnF_3 , MnCl_3
- 4 〃 MnO_2 , $\text{MnO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{Mn}_2\text{O}_5$, K_2
- 5 〃 — Na_3MnO_4
- 6 〃 $\text{MnO}_3(?)$, K_2MnO_4
- 7 〃 Mn_2O_7 , KMnO_4

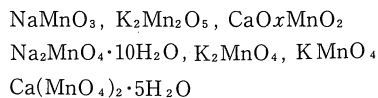
Mn の 3 価の酸化物 Mn_2O_3 が CO の酸化作用を促進する即ち酸素の運搬剤として利用される性質は血液中のヘモグロビンが酸素運搬剤として使われるのに非常に類似してヘモグロビンの場合は 2 価の比較的不安定な状態の鉄元素が酸素と可逆的に結合する事から起きるものと言われているが Mn の場合も同様に 3 価の比較的不安定な形が酸素と可逆的な結合を行う事から起きるものと考えられるが只此場合は Mn の 4 価と言う安定な状態が隣りに控えて居るので所詮 Mn の 3 価を長く保持出来ないのが大きな難点となる様である。

筆者等も此Mn(III) → Mn(IV)酸化を防ぐ方法に就いて種々の方法を検討したが未だいい結果を見出し得ない。

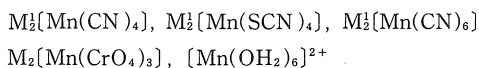
Mnの複塩、錯体では他のd元素同様種々の形が実在しているが不對電子が多い関係で複塩形式のものも多い様である。例へば



又酸素酸塩も多く代表的な化合物は

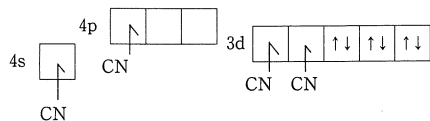


錯体に就いてはMn²⁺, Mn³⁺の形が多い。例へば

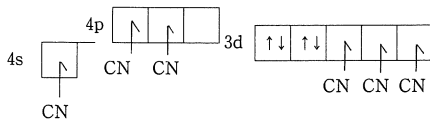


その結合様式は

Mn²⁺のM₃^I[Mn(CN)₄]は

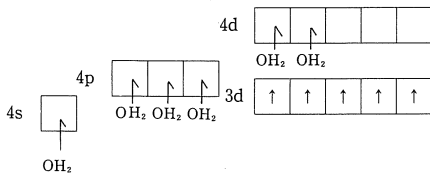


sd³p混成 正四面体 四配位 低スピン型 $\mu = 1.73$
Mn³⁺のM₃^I[Mn(CN)₆]は



sd³p²混成 正八面体 六配位 低スピン型
(内側錯体) $\mu = 0$

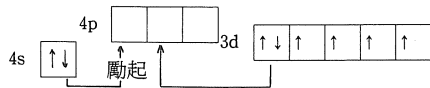
Mn²⁺の[Mn(OH₂)₆]²⁺



sp³d²混成 正八面体 六配位 高スピン型
(外側錯体) $\mu = 5.92$

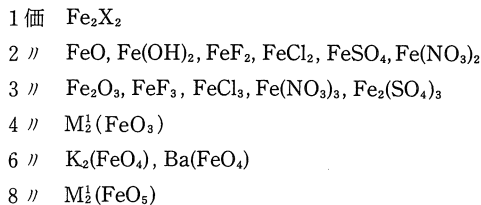
6. Fe元素に就いて

Feは基底状態で次の電子配置を取る。



励起したときは不對電子8個になり従って原子価は1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8の化合物が考へられるが実

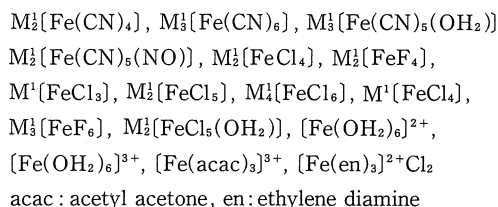
在しているものは



此外にFeのカルボニル(CO)ニトロシル(NO)化合物は0又は1価の形で知られ特に生物体内に含まれる重要元素の一つであるが是等の結合様式に就いては後述する。

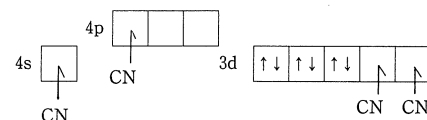
Feの酸化物に依る酸素運搬触媒もMn同様にFeの2価を使つたが安定度の良い3価に酸化され易く、これを防ぐいい方法は仲々見出せなかつた。

Feの錯体としては2価と3価のものが多くその一部を挙げれば



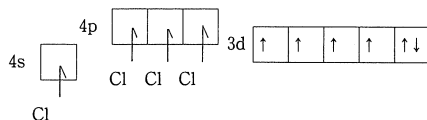
その結合様式は

Fe²⁺のM₂^I[Fe(CN)₄]は



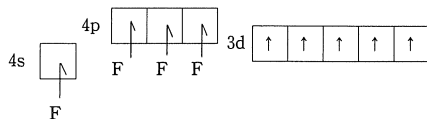
sd²p 正四面体 四配位 低スピン型 $\mu = 0$

Fe²⁺のM₂^I[FeCl₄]は



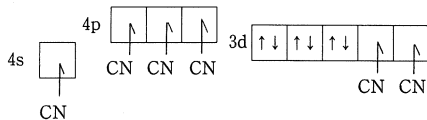
sp³混成 正四面体 四配位 高スピン型 $\mu = 4.89$

Fe³⁺のM^I[FeF₄]は



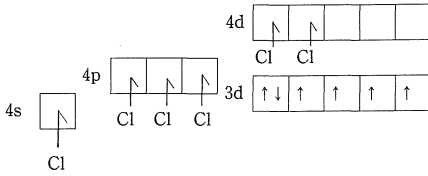
sp³混成 正四面体 四配位 高スピン型 $\mu = 5.92$

Fe²⁺のM₄^I[Fe(CN)₆]は



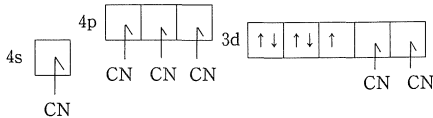
sd²p³ 混成 正八面体 六配位 低スピン型
(内側錯体) μ = 0

Fe²⁺のM₂[FeCl₆]は



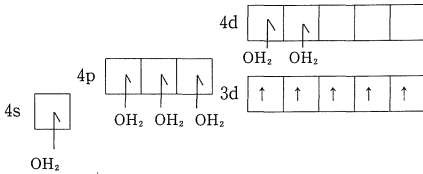
sp³d² 混成 正八面体 六配位 高スピン型
(外側錯体) μ = 4.89

Fe³⁺のM₃[Fe(CN)₆]は



sd²p³ 混成 正八面体 六配位 低スピン型
(内側錯体) μ = 1.73

Fe³⁺の[Fe(OH₂)₆]³⁺は

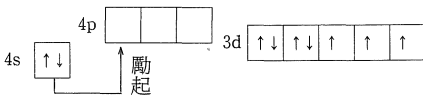


sp³d² 混成 正八面体 六配位 高スピン型
(外側錯体) μ = 5.92

以上 2, 3 価の代表的な錯体の結合様式を示した。

7. Co 元素に就いて

Co の基底状態における電子配置は



となる。従って化合物は 1, 2, 3 価励起されて 4, 5 価のもので出来る可能性があるが実在としては 5 価はまだ知られていない様だ。

- 1 価 CoX
- 2 〃 CoO, CoX₂, Co(NO₃)₂, CoSO₄
- 3 〃 Co₂O₃, CoX₃·nH₂O, Co₂(SO₄)₃·nH₂O, Co(C₂H₅)Br
- 4 〃 CoO₂, 2M²⁺O·CoO₂, CoS₂
- 5 〃 Co₂O₅(?)

Co も Fe 同様に多くのカルボニル化合物が作られているが後で触れる事にする。

錯体に就いては Co は 3d 元素中最も多く形の錯化合物が作られており更にその異性体も数多く知られている。

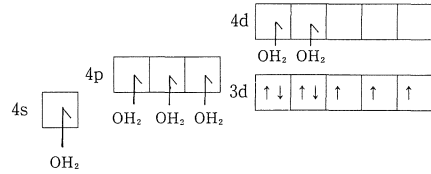
錯体は殆んど 2 価と 3 価の形で次にその一部を挙げる。

2 価 [Co(OH₂)₆]²⁺, K₂[Co(CN)₅], K₂Ca[Co(CN)₆]
K₂Ca[Co(CN)₆]

3 価 [Co(NH₃)₆]³⁺, [Co(NH₃)₅(OH₂)]³⁺,
[Co(NH₃)₄(OH₂)₂]³⁺, [Co(NH₃)(NO₂)₅]²⁺,
M₃[CoX₆], [Co(NH₃)X₅], [Co(NH₃)₂X₄]¹⁻
[Co(NH₃)₄X₂]¹⁺, [Co(NH₃)₅X]²⁺, [Co(en)₃]³⁺
M₃[Co(C₂O₄)₃], [CoCl₂(en)₂]¹⁺
X: F⁻, Br⁻, Cl⁻, I⁻, (OH)⁻, (CN)⁻, (NCS)⁻,
(NO₃)⁻, (NO₂)

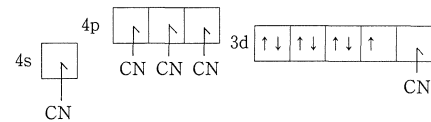
此一部の結合様式は

Co²⁺の[Co(OH₂)₆]²⁺は



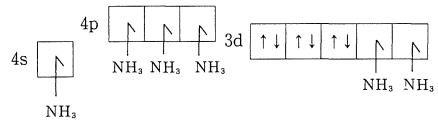
sp³d² 混成 正八面体 六配位 高スピン型
(外側錯体) μ = 3.89

Co²⁺のK₃[Co(CN)₅]は



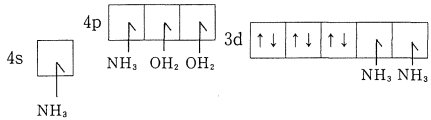
sdp³ 混成 二重三方ピラミッド形又は四方ピラミッド形 五配位 低スピン型 μ = 1.73

Co³⁺の[Co(NH₃)₆]³⁺は



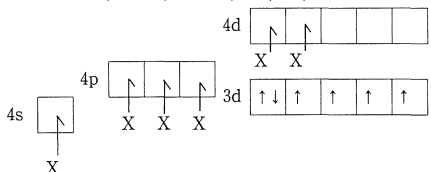
sd²p³ 混成 正八面体 六配位 低スピン型
(内側錯体) μ = 0

Co³⁺の[Co(NH₃)₄(OH₂)₂]³⁺



sd²p³ 混成 正八面体 六配位 低スピン型
(内側錯体) μ = 0

Co³⁺のM₃[CoX₆] X: F, Br, Cl, I



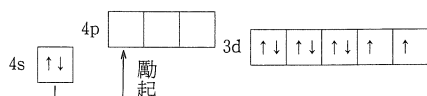
sd^2p^3 混成 正八面体 六配位 高スピン型

(外側錯体) $\mu = 4.89$

Coの2価酸化物は高温200~300°Cでは容易に3価に酸化される欠点がありCo(II)の酸素運搬触媒として自動車廃瓦斯中のCoの酸化触媒としては不適當であった。

8. Ni元素に就いて

Niの基底状態に於ける電子配置は



従って化合物は1, 2価励起されて3, 4価のものが考へられ実在している。

1 価 $NiCN$, $K_2Ni(CN)_3$, $(Ni(CN)CO)_x$

2 〃 NiO , $NiSO_4$, $NiCl_2 \cdot 2H_2O$, $Ni(CN)_2$,
 $NiCO_3 \cdot 6H_2O$

3 〃 $M_3[NiF_6]$, $NiO(OH)$

4 〃 $M_2[NiF_6]$, $M^1[NiIO_6] \cdot xH_2O$

Niもカルボニル化合物が多く知られているが後で触れる事にする。

錯体に就いては2, 3, 4価の形が知られている。

例へば

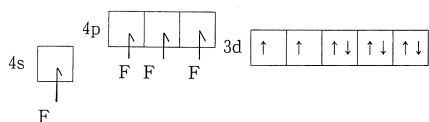
Ni^{2+} , $M_2[NiF_4]$, $[Ni(CN)_4]^{2+}$, $[Ni(OH_2)_6]^{2+}$,

$[Ni(NH_3)_6]^{2+}$, Ni^{3+} , $M_3[NiF_6]$, Ni^{4+} ,

$M_2[NiF_6]$, $M^1[NiIO_6]$

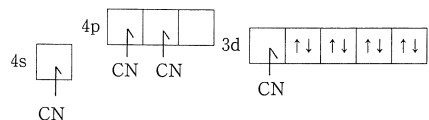
その結合様式は

Ni^{2+} の $M_2[NiF_4]$ は



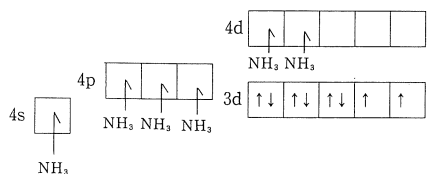
sp^3 混成 正四面体 四配位 高スピン型 $\mu = 2.86$

Ni^{2+} の $[Ni(CN)_4]^{2+}$ は



sdp^2 混成 平面正方形 四配位 低スピン型 $\mu = 0$

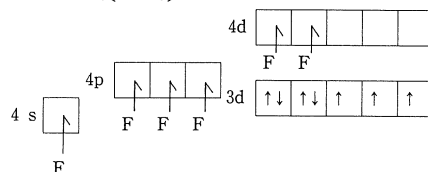
Ni^{2+} の $[Ni(NH_3)_6]^{2+}$ は



sp^3d^2 混成 正八面体 六配位 高スピン型

(外側錯体) $\mu = 2.89$ 実測値 3.17

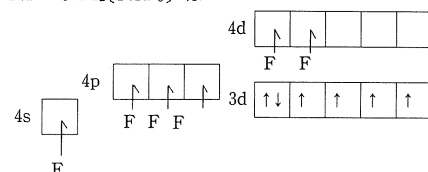
Ni^{3+} の $M_3[NiF_6]$ は



sp^3d^2 混成 正八面体 六配位 高スピン型

(外側錯体) $\mu = 3.89$

Ni^{4+} の $M_2[NiF_6]$ は



sp^3d^2 混成 正八面体 六配位 高スピン型

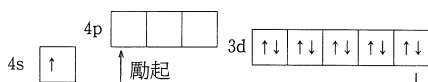
(外側錯体) $\mu = 4.89$

Niの酸化物NiOによるCO酸化用酸素運搬触媒はある程度能力を持っている事は確かめたが余り良い成績ではなかった。

やはりNiの2価は可成り安定な化合物であるためと考へられる。

9. Cu元素に就いて

Cuは基底状態で既に $4s \rightarrow dz^2$ に昇位しているその電子配置は



従ってCuの化合物は1価励起して2, 3価のものが考へられ実在している。例へば

1 価 CuX , $CuCN$, Cu_2O , Cu_2S

2 〃 CuO , $Cu(OH)_2$, CuX_2 , $CuSO_4$, $Cu(NO_3)_2$

3 〃 Cu_2O_3 , $M^1[Cu(OH)_4]$, $M_3[CuF_6]$

錯体に就いては1, 2, 3価のものが知られている。

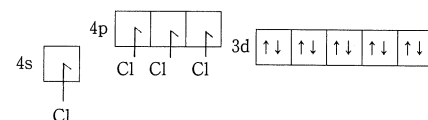
1 価 $M^1[CuCl_2]$, $M_3[CuCl_4]$

2 〃 $M^1[CuF_3]$, $M_2[CuF_4]$, $M^1[CuCl_3]$,
 $M_2[Cu(OH)_6]$, $M_2[Cu(CN)_4]$, $[Cu(OH_2)_4]^{2+}$,
 $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$, $[Cu(OH_2)_2(NH_3)_2]$

3 〃 $M^1[Cu(OH)_4]$, $M_3[CuF_6]$

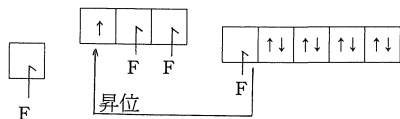
その結合様式は

Cu^{1+} の $M_3[CuCl_4]$ は



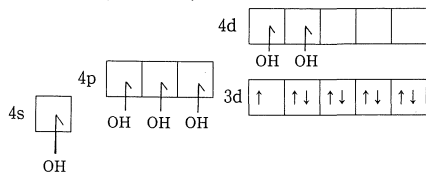
sp^3 混成 正方形 (正四面体) 四配位 $\mu = 0$

Cu^{2+} の $\text{M}_2[\text{CuF}_4]$ は



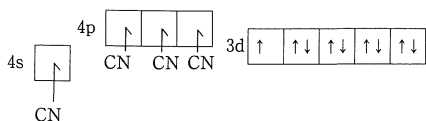
sdp² 混成 平面正方形 四配位 $\mu = 1.73$

Cu^{2+} の $\text{M}_2[\text{Cu}(\text{OH})_6]$ は



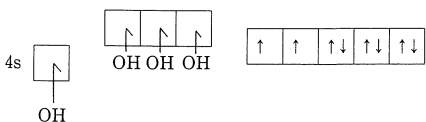
sp³d² 混成 正八面体 六配位 $\mu = 1.73$

Cu^{2+} の $\text{M}_2[\text{Cu}(\text{CN})_4]$ は



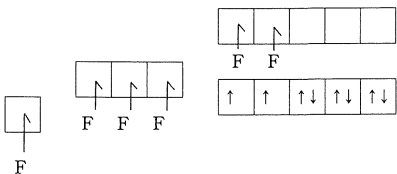
sp³ 混成 正四面体 (正方形) 四配位 $\mu = 1.73$

Cu^{3+} の $\text{M}^1[\text{Cu}(\text{OH})_4]$ は



sp³ 混成 正四面体 (正方形) 四配位 $\mu = 2.89$

Cu^{3+} の $\text{M}^1[\text{Cu}(\text{OH})_4]$ は

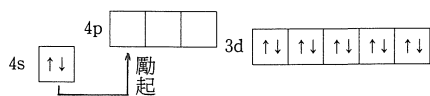


sp³d² 混成 正八面体 六配位 $\mu = 2.89$

Cu の 1 価の酸化物 Cu_2O による酸素運搬触媒の能力は可成り期待出来ると考えられたが残念ながらその生成に困難が供い且つ 200 °C 附近での安定性に疑問があり望ましい結果が得られなかった。

10. Zn 元素に就いて

Zn は基底状態で電子配置は



従ってその化合物は勵起されて 1, 2 価が考へられ実在は 2 価のみである。

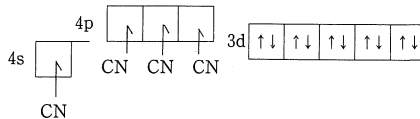
2 価 $\text{ZnO}, \text{ZnX}_2, \text{ZnSO}_4, \text{Zn}(\text{NO}_3)_2, \text{Zn}(\text{CN})_2$

錯体に就いては錯イオン形成の傾向は強く次の様な化合物が知られている。

$\text{Zn}^{2+}, \text{M}_2[\text{Zn}(\text{CN})_4], \text{M}_2[\text{ZnX}_4], \text{M}^1[\text{ZnX}_3], \text{M}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4], [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}, [\text{Zn}(\text{OH}_2)_4]^{2+}$

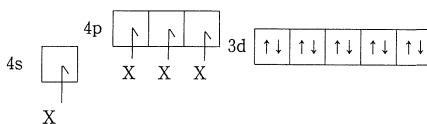
その結合様式は

Zn^{2+} の $\text{M}_2[\text{Zn}(\text{CN})_4]$ は



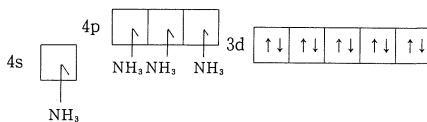
sp³ 混成 正四面体 四配位 $\mu = 0$

Zn^{2+} の $\text{M}_2[\text{ZnX}_4]$ は



sp³ 混成 正四面体 四配位 $\mu = 0$

Zn^{2+} の $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ は



sp³ 混成 正四面体 四配位 $\mu = 0$

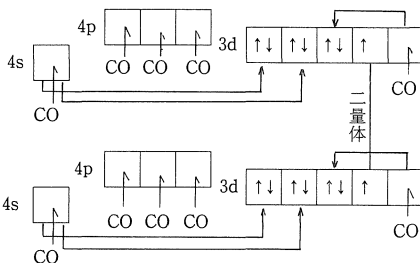
Zn の電子構造は上記の様に飽和状態であるので不活性の傾向が強く酸化物に依る酸素運搬触媒の能力も弱く、余り望ましい結果は得られなかった。

最後に Mn, Fe, Co, Ni 等のカルボニル化合物の電子配置に就いて触れておく。化合物は

- Mn(O) $[\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}]$ (多核金属)
- Fe(O) $[\text{Fe}(\text{CO})_5]$ (単核金属)
- Co(O) $[\text{Co}_2(\text{CO})_8]$ (多核金属)
- Ni(O) $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$ (単核金属)
- Cr(O) $[\text{Cr}(\text{CO})_6]$ (単核金属)

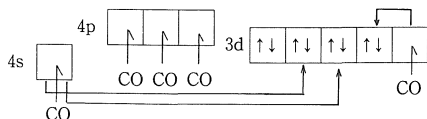
その結合様式は

Mn(O) の $[\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}]$

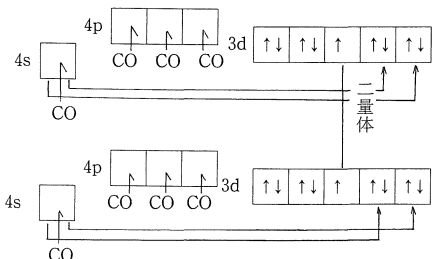


sd²p³ 混成 正八面体 六配位 (一配位は Mn)

Fe(O)の[Fe(CO)₅]

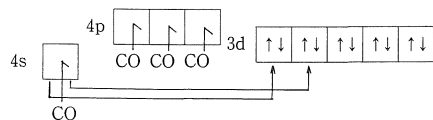


sd³ 混成 二重三方ピラミッド型 五配位
Co(O)の[Co₂(CO)₈]

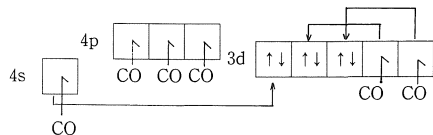


sd³ 混成 二重三方ピラミッド型 五配位
(一配位はCo)

Ni(O)の[Ni(CO)₄]



sp³ 混成 正四面体 四配位
Cr(O)の[Cr(CO)₆]



sd²p³ 混成 正八面体 六配位 μ = 0

以上 d 軌道中の 3d 元素中の電子移動に就いてその一端を述べたに過ぎない。

まだ多くの問題、例へばエネルギー準位の分裂、各種異性体の構造安定度、反応性等限りなくあり論議研究されつつある。

酸素運搬用触媒に就いては筆者等も未熟ながら3d軌道元素の酸化物の種々の形に就いて研究を行ったが結論的に言って酸化物自体の酸化を防止する効果的な方法を見出す事が困難である事を体験した。

尤も触媒の使用環境が自動車廃気管と言う高温域であり第一遷移系列の 3d 元素では電子の反応性が強く自己酸化を抑制する事は困難の様である。

錯体は原子価形式の差異を V. B. T. (Valence bond Theory) に従って配位を作ったが専門家の御叱りを受けるかも知れぬが何卒寛容な御指導御忠言を御願います。

次報では第二遷移系列 4d 元素の予定

参考文献

著者	書名	発行所
1. 柴田村治	錯体化学入門	共立全書
2. D.P.Graddon 中原, 川口, 黒谷訳	配位化合物と化学	化学同人
3. 中原勝儼	電子構造と周期律	培風館
4. F.Basolo R.Johnson 山田祥一郎訳	配位化学	化学同人
5. E.Orgel 小林宏訳	遷移元素の化学	岩波書店
6. 新村陽一	配位立体化学	培風館
7. E.Cartmell G.W.A.Fowles 久保昌二訳	原子価と分子構造	丸善書店
8. ゲ・イ・シェリンスキー 大竹三郎訳	化学結合とはなにか	東京図書KK
9. 福井謙一	化学反応と電子の軌道	丸善書店
10. L.Panling 小泉正夫訳	化学結合論入門	共立出版KK
11. 清山哲郎	金属酸化物とその触媒作用	講談社
12. 井本稔	有機電子論 I, II	共立出版KK
13. 化学大辞典編集委員会	化学大辞典 (1-10)	共立出版KK