

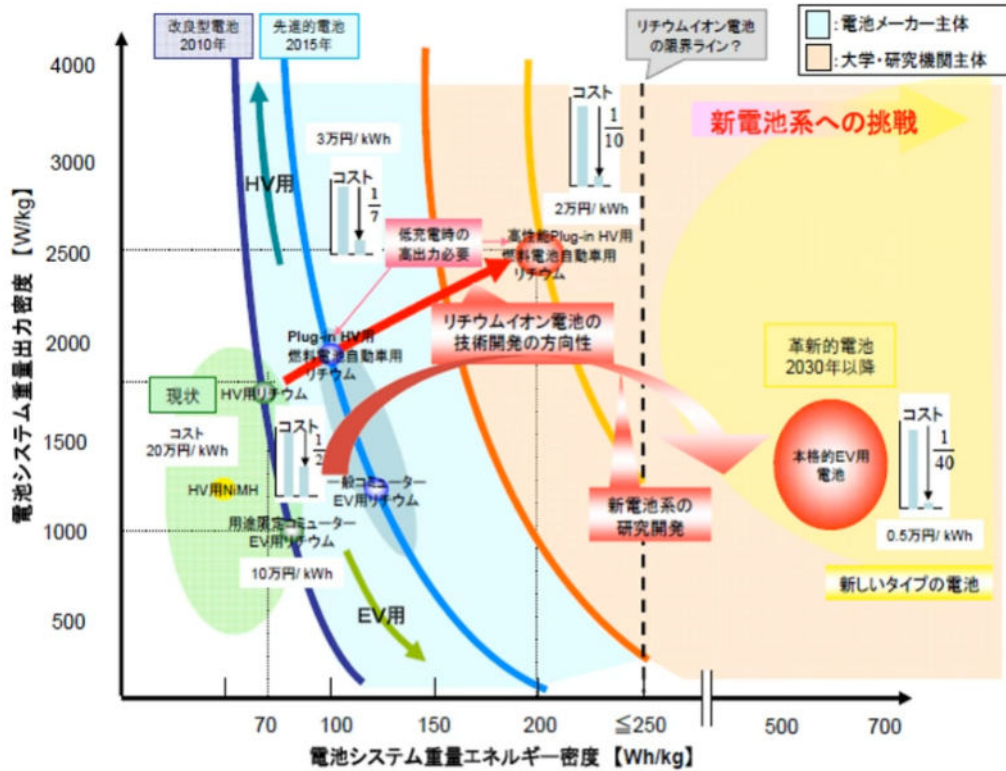
本動画講義のファイルを

- ・データとして保存すること
- ・外部に動画講義を拡散すること

を固く禁じます。

約30秒後に 動画講義は自動的に始まります。

## 化学基礎 I



私が研究に係わっている次世代電池の研究について少し雑談します。

次世代電池に求められる性能の指標の一つは、エネルギー密度です。

エネルギーの単位は J ですが、  
 $J = C \cdot V$  及び  $C = A \cdot s$  及び  $W = A \cdot V$

です。電池のエネルギー密度は、Jの単位を変換してWhで表します。その重量密度であれば Wh/kg となりますね。

このWh/kgは更に

$$Wh/kg = Ah/kg \times V$$

と変換できます。右辺第一項は電極の容量、第二項は電池の作動電圧です。高いエネルギー密度を有する次世代電池として、例えば

## Li-S 電池

## 全固体電池

## 空氣電池

などが注目されています。

工学研究科 マテリアル工学科 入山 恭寿

工・9号館 519号室

iriyama@numse.nagoya-u.ac.jp

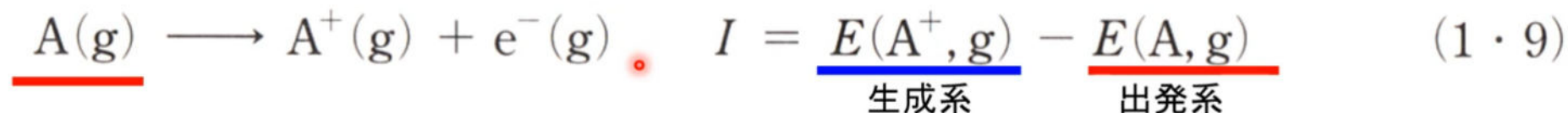


## 確認テスト

1. イオン化エネルギーと電子親和力 の定義をそれぞれ説明せよ

### イオン化エネルギー

基底状態にある**気体** (g) 状原子から、**真空中**で電子 1 個を取り除いて陽イオンにするのに必要なエネルギー。温度は 0 K



### 電子親和力

基底状態にある**気体** (g) 状原子に、**真空中**で電子 1 個を与えるときに発生するエネルギー。温度は 0 K。



**電子親和力は引き算の序列に注意！**



# 確認テスト

2. ポーリングの電気陰性度 ( $\chi$ ) の考え方に基づき、下記のデータを用いてHの電気陰性度の値を見積もれ。ただし、Fの  $\chi = 4.00$  とする。

HFの結合エネルギー： 566 kJ/mol

H<sub>2</sub>の結合エネルギー： 436 kJ/mol

F<sub>2</sub>の結合エネルギー： 158 kJ/mol

$$\Delta_{AB} = D_{AB} - \frac{1}{2}(D_{A-A} + D_{B-B}) \quad \text{イオン性エネルギー}(\Delta_{AB}) = \text{結合の強さ}(D_{AB}) - \text{等核結合のエネルギーの平均}$$

電気陰性度の差  $\chi_A - \chi_B = \sqrt{\Delta_{AB}/96.5}$

H<sub>2</sub>、F<sub>2</sub>の等核結合のエネルギー平均：
$$\frac{1}{2}(436 + 158) = 297$$

$$\Delta_{AB} = 566 - 297 = 269$$

$$\sqrt{\frac{269}{96.5}} = 1.67 \quad \text{フッ素と水素の電気陰性度の差}$$

フッ素の電気陰性度を4.00とす  
水素の電気陰性度は  
 $4.00 - 1.67 = 2.33$   
と求められる





# 確認テスト

3. 気体のNaとClを考え、それが中性のガスとして存在する状態と、 $\text{Na}^+(\text{g})$ と $\text{Cl}^-(\text{g})$ の状態にいるときと、どちらが安定であるかを説明せよ。ただし、原子 及び イオン間の相互作用は考えないとする。

Na の 第一イオン化エネルギー : 496 kJ/mol;

Cl の 第一電子親和力 : 349 kJ/mol

以上から、 $\text{Na}^+$  と  $\text{Cl}^-$  になると、

$$496 - 349 = 147 \text{ (kJ/mol)}$$

だけ “不安定(エネルギーが高い状態)” となる。

もちろん、この $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ が結合(例えば結晶化)する際には、別途安定化に寄与するエネルギーを考えます。  
これはまた後半の講義で学びます。



## 2章 元素の性質と周期性

2.3 電気陰性度

2.3.2 電気陰性度と単体の結合性

2.3.3 電気陰性度と化合物中の結合性

2.4 酸化数と原子価

2.5 原子半径とイオン半径



# 電気陰性度と単体の結合性

(\* ここではオールレッドロコウの $\chi$ を参照ください)

## 一般的な傾向

電気陰性度が低い元素の結合 (電気陽性)

: 金属結合となる傾向がある

電気陰性度が高い元素の結合 (電気陰性)

: 共有結合(非金属)となる傾向がある

炭素 : 共有結合 非金属

ケイ素 : 共有結合 半導体

ゲルマニウム : 共有結合 半導体

スズ : 亜金属(半金属)

鉛 : 金属結合 金属

表 1・8 ポーリング  $\chi_P$ , マリケン  $\chi_M$ , オールレッド・ロコウ  $\chi_{AR}$  の電気陰性度

H 2.20 3.06 2.20							He 5.5
Li 0.98 1.28 0.97	Be 1.57 1.99 1.47	B 2.04 1.83 2.01	C 2.55 2.67 2.50	N 3.04 3.08 3.07	O 3.44 3.22 3.50	F 3.98 4.43 4.10	Ne
Na 0.93 1.21 1.01	Mg 1.31 1.63 1.23	Al 1.61 1.37 1.47	Si 1.90 2.03 1.74	P 2.19 2.39 2.06	S 2.58 2.65 2.44	Cl 3.16 3.54 2.83	Ar
K 0.82 1.03 0.91	Ca 1.00 1.30 1.04	Ga 1.81 1.34 1.82	Ge 2.01 1.95 2.02	As 2.18 2.26 2.20	Se 2.55 2.51 2.48	Br 2.96 3.24 2.74	Kr
Rb 0.82 0.99 0.89	Sr 0.95 1.21 0.99	In 1.78 1.30 1.49	Sn 1.96 1.83 1.72	Sb 2.05 2.06 1.82	Te 2.10 2.34 2.01	I 2.66 2.88 2.21	Xe
Cs 0.79 0.70 0.86	Ba 0.89 0.90 0.97	Tl 2.04 1.80 1.44	Pb 2.33 1.90 1.55	Bi 2.02 1.90 1.67			

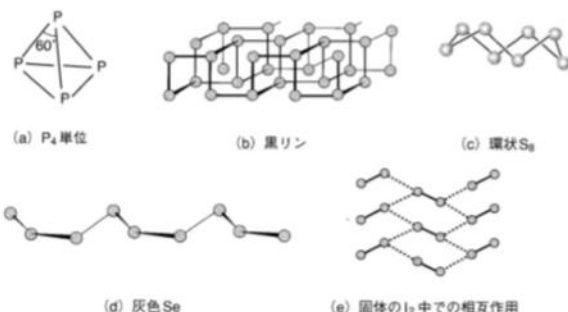
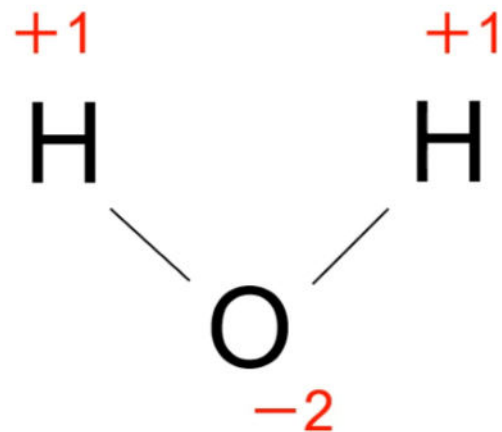
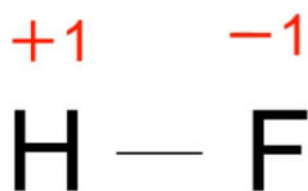


図 2.4 単体の構造(2)



# 電気陰性度と化合物中の結合性

(形式)酸化数 : 完全なイオン性で考慮 (つまり、電気陰性度が大きな元素の方に電荷が100%偏る という考え方)



$\text{MnO}_4^-$  の Mnの酸化数 : +7

$\text{CrO}_4^{2-}$  の Crの酸化数 : +6

$\text{H}_2\text{O}_2$  の Oの酸化数 : -1

参考: 13族から16族の高周期元素においては、閉殻の*d* 副殻や*f* 副殻からの遮蔽効果が小さいために*s* 電子の貫入効果が大きくなり、エネルギーが低くなるために結合に使用できなくなる。このため、予想される酸化数よりも2だけ小さくなる傾向がある。

例: 第15族のPについては $\text{P}_2\text{O}_5$  と  $\text{P}_4\text{O}_6$ の両者があるが、As,Sb,Biについては通常は $\text{M}_2\text{O}_3$ である。





# 電気陰性度と化合物中の結合性

\*ここではサンダーソンの考え方を紹介します

部分電荷( $\delta$ ) : イオン性 + 共有結合性を考慮

サンダーソンの配位縮合モデル

計算ではサンダーソンが提唱する電気陰性度( $S$ )の値を用いる

表 1・3 Sanderson による電気陰性度の値

元素	電気陰性度	$\Delta S_c$	元素	電気陰性度	$\Delta S_c$	元素	電気陰性度	$\Delta S_c$
H	3.55	3.92	S	4.12	4.22	Cd	2.84	3.35
Li	0.74	1.77	Cl	4.93	4.62	Sn	3.09	3.16, 3.66
Be	1.99	2.93	K	0.42	1.35	Sb	3.34	3.80
B	2.93	2.56	Ca	1.22	2.30	Te	3.59	3.94
C	3.79	4.05	Zn	2.98	3.58	I	3.84	4.08
N	4.49	4.41	Ga	3.28	3.77	Cs	0.28	1.10
O	5.21	4.75	Ge	3.59	3.94	Ba	0.78	1.93
F	5.75	4.99	As	3.90	4.11	Hg	2.93	3.59
Na	0.70	1.74	Se	4.21	4.27	Tl	3.02	2.85
Mg	1.56	2.60	Br	4.53	4.43	Pb	3.08	3.21, 3.69
Al	2.22	3.10	Rb	0.36	1.25	Bi	3.16	3.74
Si	2.84	3.51	Sr	1.06	2.14			
P	3.43	3.85	Ag	2.59				

$S_b$ : 結合における平均的な電気陰性度

例: HF分子  $S_b = \sqrt{S_H S_F}$

$\Delta S_c$ : 各元素が+1 or -1 になるときの電気陰性度の“変化”

$\Delta S = S_b - S$  : 結合における平均的な電気陰性度と 各元素の電気陰性度の差

$\delta = \frac{\Delta S}{\Delta S_c}$  : 部分電荷



# 電気陰性度と化合物中の結合性

\*ここではサンダーソンの考え方を紹介します

部分電荷( $\delta$ ) : イオン性 + 共有結合性を考慮

サンダーソンの配位縮合モデル

計算ではサンダーソンが提唱する電気陰性度( $S$ )の値を用いる

例: HF分子

$S_b$ : 結合における平均的な電気陰性度

$$S_b = \sqrt{S_H S_F} = 4.52$$

$$\Delta S_H = 4.52 - 3.55 = 0.97$$

$$\Delta S_F = 4.52 - 5.75 = -1.23$$

$$\delta = \frac{\Delta S}{\Delta S_c}$$

$$\text{H: } 0.97/3.92 = 0.25$$

$$\text{F: } -1.23/4.99 = -0.25$$

表 1・3 Sanderson による電気陰性度の値

元素	電気陰性度	$\Delta S_c$	元素	電気陰性度	$\Delta S_c$	元素	電気陰性度	$\Delta S_c$
H	3.55	3.92	S	4.12	4.22	Cd	2.84	3.35
Li	0.74	1.77	Cl	4.93	4.62	Sn	3.09	3.16, 3.66
Be	1.99	2.93	K	0.42	1.35	Sb	3.34	3.80
B	2.93	2.56	Ca	1.22	2.30	Te	3.59	3.94
C	3.79	4.05	Zn	2.98	3.58	I	3.84	4.08
N	4.49	4.41	Ga	3.28	3.77	Cs	0.28	1.10
O	5.21	4.75	Ge	3.59	3.94	Ba	0.78	1.93
F	5.75	4.99	As	3.90	4.11	Hg	2.93	3.59
Na	0.70	1.74	Se	4.21	4.27	Tl	3.02	2.85
Mg	1.56	2.60	Br	4.53	4.43	Pb	3.08	3.21, 3.69
Al	2.22	3.10	Rb	0.36	1.25	Bi	3.16	3.74
Si	2.84	3.51	Sr	1.06	2.14			
P	3.43	3.85	Ag	2.59				

+0.25      -0.25



# 電気陰性度と化合物中の結合性

\*ここではサンダーソンの考え方を紹介します

**部分電荷( $\delta$ )** : イオン性 + 共有結合性を考慮

サンダーソンの配位縮合モデル

計算ではサンダーソンが提唱する電気陰性度( $S$ )の値を用いる

例:  $\text{H}_2\text{O}$ 分子

$S_b$ : 結合における平均的な電気陰性度

$$S_b = \sqrt[3]{S_H^2 S_O} = 4.03$$

$$\Delta S_H = 4.03 - 3.55 = 0.48$$

$$\Delta S_O = 4.03 - 5.21 = -1.18$$

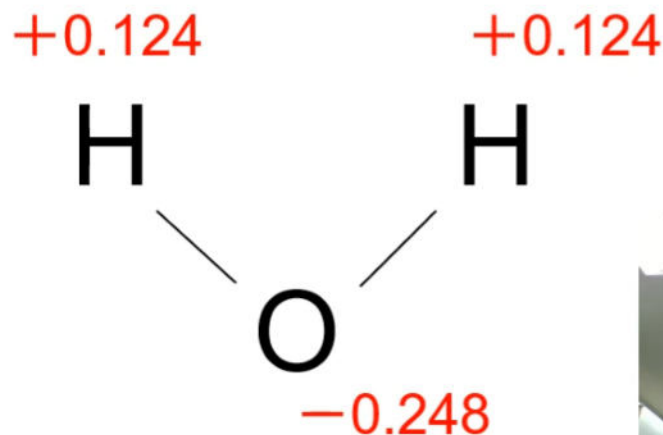
$$\delta = \frac{\Delta S}{\Delta S_c}$$

$$\text{H: } 0.48/3.92 = 0.124$$

$$\text{O: } -1.18/4.75 = -0.248$$

表 1・3 Sanderson による電気陰性度の値

元素	電気陰性度	$\Delta S_c$	元素	電気陰性度	$\Delta S_c$	元素	電気陰性度	$\Delta S_c$
H	3.55	3.92	S	4.12	4.22	Cd	2.84	3.35
Li	0.74	1.77	Cl	4.93	4.62	Sn	3.09	3.16, 3.66
Be	1.99	2.93	K	0.42	1.35	Sb	3.34	3.80
B	2.93	2.56	Ca	1.22	2.30	Te	3.59	3.94
C	3.79	4.05	Zn	2.98	3.58	I	3.84	4.08
N	4.49	4.41	Ga	3.28	3.77	Cs	0.28	1.10
O	5.21	4.75	Ge	3.59	3.94	Ba	0.78	1.93
F	5.75	4.99	As	3.90	4.11	Hg	2.93	3.59
Na	0.70	1.74	Se	4.21	4.27	Tl	3.02	2.85
Mg	1.56	2.60	Br	4.53	4.43	Pb	3.08	3.21, 3.69
Al	2.22	3.10	Rb	0.36	1.25	Bi	3.16	3.74
Si	2.84	3.51	Sr	1.06	2.14			
P	3.43	3.85	Ag	2.59				





# 各種元素の電子親和力

表 1・7 主族元素の電子親和力,  $E_a/(\text{kJ mol}^{-1})$  †

<b>H</b> 72							<b>He</b> -48
<b>Li</b> 60	<b>Be</b> ≤0	<b>B</b> 27	<b>C</b> 122	<b>N</b> -8	<b>O</b> 141 -780	<b>F</b> 328	<b>Ne</b> -116
<b>Na</b> 53	<b>Mg</b> ≤0	<b>Al</b> 43	<b>Si</b> 134	<b>P</b> 72	<b>S</b> 200 -492	<b>Cl</b> 349	<b>Ar</b> -96
<b>K</b> 48	<b>Ca</b> 2	<b>Ga</b> 29	<b>Ge</b> 116	<b>As</b> 78	<b>Se</b> 195	<b>Br</b> 325	<b>Kr</b> -96
<b>Rb</b> 47	<b>Sr</b> 5	<b>In</b> 29	<b>Sn</b> 116	<b>Sb</b> 103	<b>Te</b> 190	<b>I</b> 295	<b>Xe</b> -77

† 1 番目の値は中性原子からイオン  $X^-$  が生成する反応に, 2 番目の値は  $X^-$  から  $X^{2-}$  が生成する反応に対応する。

酸素イオンは、 $O^{2-}$  と一般的には考える。一方、  
Oの第一電子親和力は +141 kJ/mol であるが、  
Oの第二電子親和力は -780 kJ/mol である。  
つまり、 $O^{2-}$ はエネルギー的には不安定である。





表 3.11 種々の固体酸化物における酸素の部分電荷

化合物	$-\delta_0$	化合物	$-\delta_0$	化合物	$-\delta_0$	化合物	$-\delta_0$
Cu <sub>2</sub> O	0.41	BeO	0.36	BaO	0.68	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.56
Ag <sub>2</sub> O	0.41	PbO	0.36	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.19	CO <sub>2</sub>	0.11
Li <sub>2</sub> O	0.80	SnO	0.37	Tl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.21	GeO <sub>2</sub>	0.13
Na <sub>2</sub> O	0.81	FeO	0.40	In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.23	SnO <sub>2</sub>	0.17
K <sub>2</sub> O	0.89	CoO	0.40	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.24	PbO <sub>2</sub>	0.18
Rb <sub>2</sub> O	0.92	NiO	0.40	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.31	SiO <sub>2</sub>	0.23
Cs <sub>2</sub> O	0.94	MnO	0.41	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.33	MnO <sub>2</sub>	0.29
HgO	0.27	MgO	0.50	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.37	TiO <sub>2</sub>	0.39
ZnO	0.29	CaO	0.56	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.47	ZrO <sub>2</sub>	0.44
CdO	0.32	SrO	0.60	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.52	HfO <sub>2</sub>	0.45
CuO	0.32						



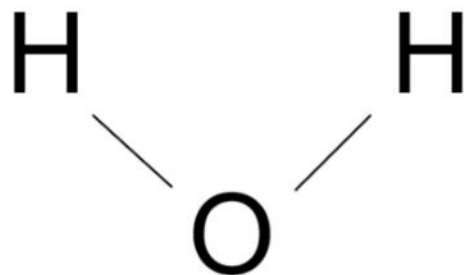
# 原子価 及び 超原子価

原子価 : 原子が何個の他の原子と結合するかを表す数

14族から17族まででは、最高の原子価はそれぞれの族の番号が10を引いた値



15、16、17族元素がとる原子価は4を越える場合がある。  
このような原子価は超原子価と呼ばれる



例

O : 2  
H : 1  
N : 3

例

$\text{NO}_3^-$  : Nの原子価は “5”  
 $\text{PF}_5$  : Pの原子価は “5”  
 $\text{IF}_7$  : Iの原子価は “7”



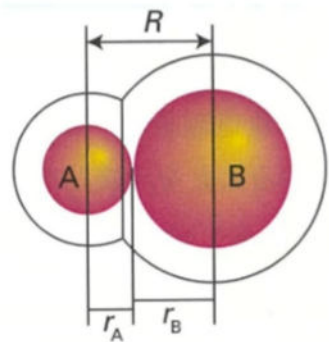
# 原子半径

ファンデルワールス半径 : 原子間に結合がないときの最近接距離の半分

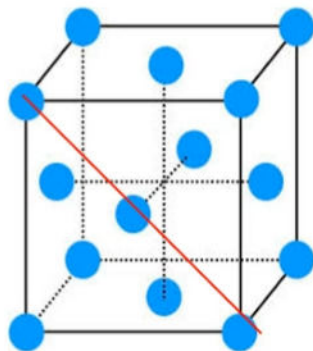
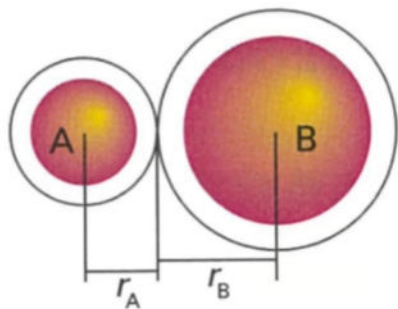
共有結合半径 : 同じ原子が単結合(共有結合)で結合した分子の核間距離の半分

ファンデルワールス半径  $>$  共有結合半径

金属結合半径 : 金属結晶中の原子間距離の半分  
(配位数に応じた補正が必要)



10 共有結合半径



例:  
面心立方格子の  
対角線は、金属結合  
半径の4倍







# イオン半径(典型元素)

$O^{2-}$  126 pm

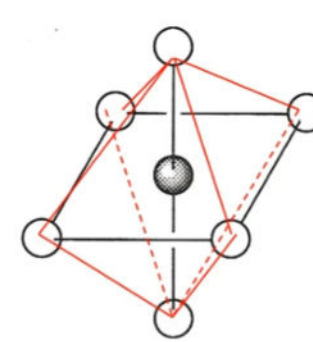
(\* 140pm と算出されている表もある)

値を混ぜて使わない

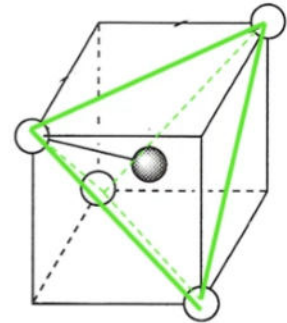
表2.7 典型元素のイオン半径(Å)

$Li^+$ 0.90 0.73(4)	$Be^{2+}$ 0.59 0.41(4)	$B^{3+}$ 0.41 0.25(4)	$C^{4+}$ 0.30 0.29(4)	$N^{3+}$ 0.30 $N^{3-}$ 1.32(4) $N^{5+}$ 0.27	<u><math>O^{2-}</math> 1.26</u> 1.24(4)	$F^-$ 1.19 1.17(4)
$Na^+$ 1.16 1.13(4)	$Mg^{2+}$ 0.86 0.71(4)	$Al^{3+}$ 0.675 0.53(4)	$Si^{4+}$ 0.540 0.40(4)	$P^{3+}$ 0.58 $P^{5+}$ 0.52 0.31(4)	$S^{2-}$ 1.70 $S^{4+}$ 0.51 $S^{6+}$ 0.43	$Cl^-$ 1.67 $Cl^{7+}$ 0.22(4)
$K^+$ 1.52 1.65(8)	$Ca^{2+}$ 1.14 1.26(8)	$Ga^{3+}$ 0.760 0.61(4)	$Ge^{4+}$ 0.670 0.530(4)	$As^{3+}$ 0.72 $As^{5+}$ 0.60	$Se^{2-}$ 1.84 $Se^{4+}$ 0.64	$Br^-$ 1.82 $Br^{7+}$ 0.39(4)
$Rb^+$ 1.66 1.75(8)	$Sr^{2+}$ 1.32 1.40(8)	$In^{3+}$ 0.94 0.76(4)	$Sn^{4+}$ 0.83 0.69(4)	$Sb^{3+}$ 0.90 $Sb^{5+}$ 0.74	$Te^{2-}$ 2.07 $Te^{4+}$ 1.11	$I^-$ 2.06 $I^{7+}$ 0.56(4)
$Cs^+$ 1.81 1.88(8)	$Ba^{2+}$ 1.49 1.56(8)	$Tl^{3+}$ 1.025 $Tl^+$ 1.64	$Pb^{4+}$ 0.915 $Pb^{2+}$ 1.33	$Bi^{3+}$ 1.17 $Bi^{5+}$ 0.90	$Po^{4+}$ 1.08 $Po^{6+}$ 0.81	$At^{7+}$ 0.76

カッコ内の数値は配位数を示す。カッコがついていない場合は6配位。



6配位



4配位



# イオン半径(遷移金属)

表2.8 遷移金属のイオン半径(Å単位)

Sc <sup>3+</sup> 0.885 1.010(8)	Ti <sup>2+</sup> 1.00 Ti <sup>3+</sup> 0.810 Ti <sup>4+</sup> 0.745	V <sup>2+</sup> 0.93 V <sup>3+</sup> 0.780 V <sup>4+</sup> 0.72 V <sup>5+</sup> 0.68	Cr <sup>2+</sup> 0.87(LS), 0.94(HS) Cr <sup>3+</sup> 0.755	Mn <sup>2+</sup> 0.81(LS), 0.97(HS) Mn <sup>3+</sup> 0.72(LS), 0.785(HS)	Fe <sup>2+</sup> 0.77(4), 0.75(LS), 0.92(HS) Fe <sup>3+</sup> 0.69(LS), 0.785(HS)	Co <sup>2+</sup> 0.72(4HS), 0.79(LS), 0.885(HS) Co <sup>3+</sup> 0.685(LS), 0.75(HS)	Ni <sup>2+</sup> 0.69(4), 0.63(4SQ), 0.83 Ni <sup>4+</sup> 0.62(LS)	Cu <sup>+</sup> 0.74(4), 0.91 Cu <sup>2+</sup> 0.71(4), 0.71(4SQ), 0.87	Zn <sup>2+</sup> 0.74(4), 0.880
Y <sup>3+</sup> 1.040 1.159(8)	Zr <sup>4+</sup> 0.86 0.92(7) 0.98(8)	Nb <sup>3+</sup> 0.86 Nb <sup>4+</sup> 0.82 Nb <sup>5+</sup> 0.78	Mo <sup>3+</sup> 0.83 Mo <sup>4+</sup> 0.790 Mo <sup>5+</sup> 0.75 Mo <sup>6+</sup> 0.73	Tc <sup>4+</sup> 0.785 Tc <sup>5+</sup> 0.74 Tc <sup>7+</sup> 0.70	Ru <sup>3+</sup> 0.82 Ru <sup>4+</sup> 0.760 Ru <sup>5+</sup> 0.705	Rh <sup>3+</sup> 0.805 Rh <sup>4+</sup> 0.74 Rh <sup>5+</sup> 0.69	Pd <sup>2+</sup> 0.78(4SQ), 1.00	Ag <sup>+</sup> 0.81(2), 1.14(4), 1.29	Cd <sup>2+</sup> 0.92(4), 1.09
La <sup>3+</sup> 1.172 1.300(8) 1.41(10)	Hf <sup>4+</sup> 0.85 0.97(8)	Ta <sup>3+</sup> 0.86 Ta <sup>4+</sup> 0.82 Ta <sup>5+</sup> 0.78	W <sup>4+</sup> 0.80 W <sup>5+</sup> 0.76 W <sup>6+</sup> 0.56(4) 0.74	Re <sup>4+</sup> 0.77 Re <sup>5+</sup> 0.72 Re <sup>6+</sup> 0.69 Re <sup>7+</sup> 0.52(4), 0.67	Os <sup>4+</sup> 0.770 Os <sup>5+</sup> 0.715 Os <sup>6+</sup> 0.685 Os <sup>7+</sup> 0.665 Os <sup>8+</sup> 0.53(4)	Ir <sup>3+</sup> 0.82 Ir <sup>4+</sup> 0.765 Ir <sup>5+</sup> 0.71	Pt <sup>2+</sup> 0.74(4SQ), 0.94 Pt <sup>4+</sup> 0.765	Au <sup>+</sup> 1.51 Au <sup>3+</sup> 0.82(4SQ), 0.99	Hg <sup>+</sup> 1.33 Hg <sup>2+</sup> 1.10(4) 1.16
Ac <sup>3+</sup> 1.26									

カッコ内の数値は配位数を示す。カッコがついていない場合は6配位。SQ：平面正方形構造，LS：低スピン状態，HS：高スピン状態（第二，三遷移金属は低スピン状態）。





$\text{Fe}^{2+}$
0.77(4),
0.75(LS),
0.92(HS)
$\text{Fe}^{3+}$
0.69(LS),
0.785(HS)

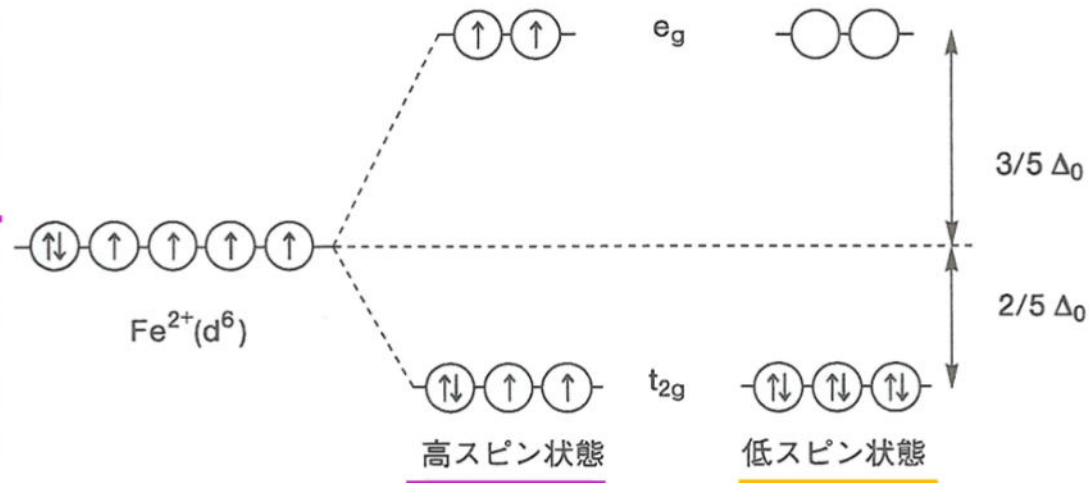
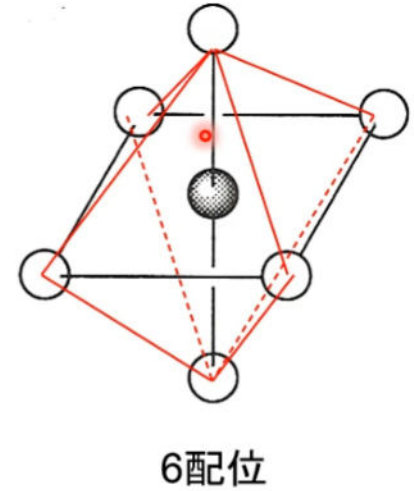


図2.11 八面体場での d 軌道の分裂と結晶場の安定化



LS : Low Spin (低スピン)(\*不対電子が0)  
 HS : High Spin (高スピン)(\*不対電子が4)





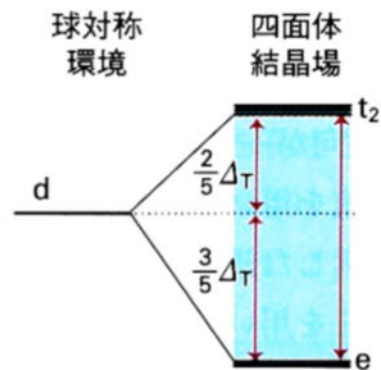
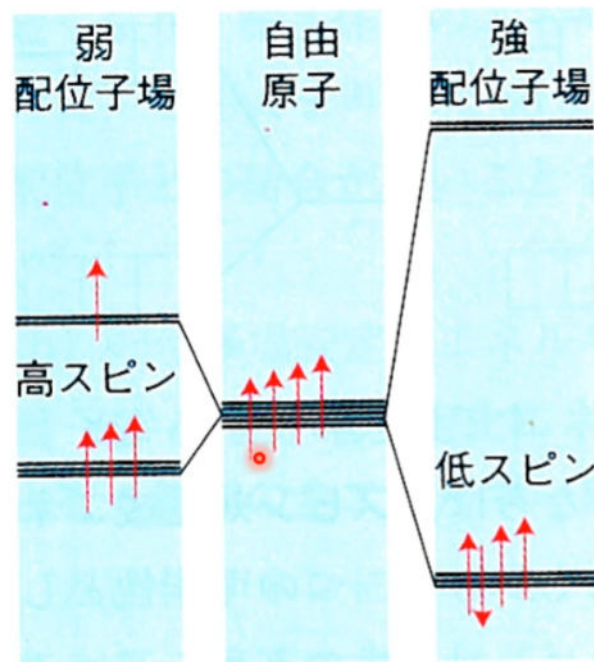


図 19・7 四面体錯体の結晶場解析に構成原理を適用するための軌道エネルギー準位図

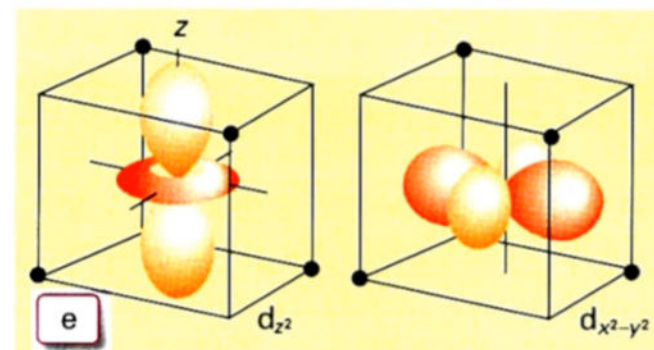
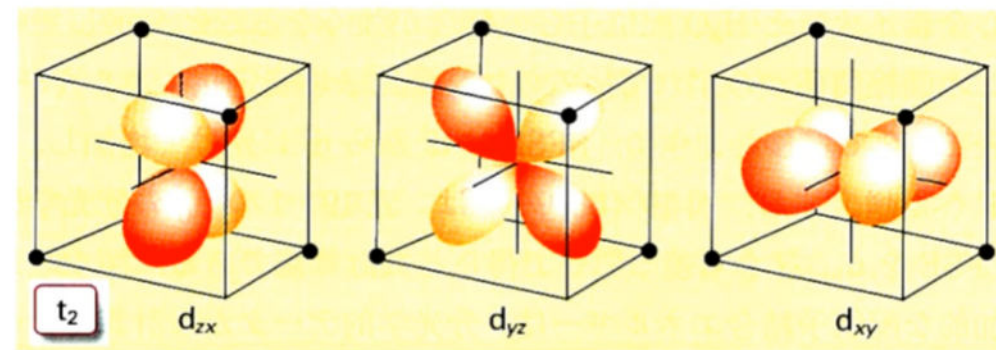


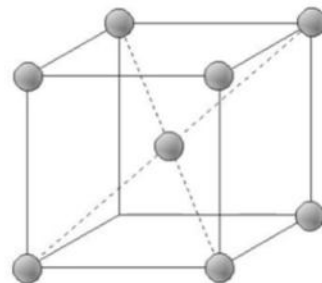
図 19・8 四面体結晶場の効果により一組の d 軌道は一对の e と  $t_2$  三重項の二組に分裂する。前者は後者と比べると配位子の方向に直接向いていないため、エネルギーも低い。



## 確認テスト

1. サンダーソンの考え方をを用いて、講義で計算したHF以外に、HCl、HBr、HI のHの部分電荷を求め、教科書 p 33の演習問題の解答と比較せよ。

2. Li の金属結合半径の値をもちいて、格子定数（Liは体心立方格子をとるので、その一片の辺の値）を計算せよ。



3. 金属結合半径、イオン半径についてそれぞれ説明せよ。

