

化学 I 原子の構造 (第2, 3回)

結合や反応など化学で扱う現象の大半は電子が担っているので、電子の挙動を知ることが最重要の課題である。第2回・3回では、原子のなかの電子について解説する。

1.1 原子模型

1.2 量子数と軌道

1.3 電子を軌道に詰める

1.3.1 遮蔽

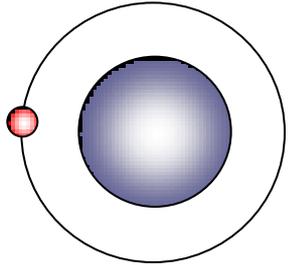
1.3.2 軌道の動径分布と貫入

1.3.3 パウリの排他原理とフントの規則

1.4 周期表の成り立ち

電子の性質 (量子力学)

ボーアの原子模型 (1913年)

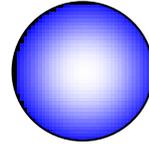


~~電子は、惑星が太陽のまわりを回るように、一定の軌道を描いて原子核のまわりを回っている~~

電子の存在は電子という**粒子の波動性**に基づく不確定性原理 (位置と運動量を同時に確定できない) のために確率的である

電子の性質 (量子力学)

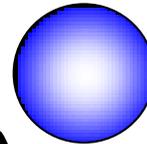
- ・ 粒子としてみなせる



半径 r_e : 2.81794×10^{-15} m (2.8 fm)

静止質量 m_e : 9.10956×10^{-31} kg

- ・ 波動としてみなせる
(速度 v で運動している)



波長 λ

$$\text{波長 } \lambda = h / m_e v$$

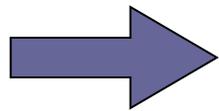
ド・ブロイ波長

Schrödingerの波動方程式

$$\Delta\Psi + \frac{2m}{\hbar^2}(E - V)\Psi = 0$$

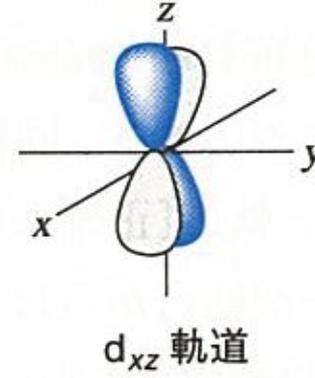
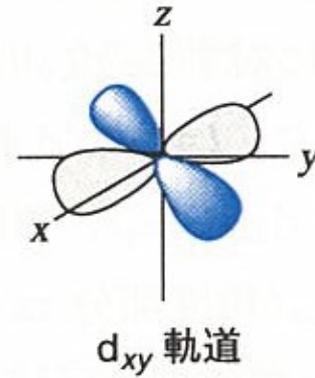
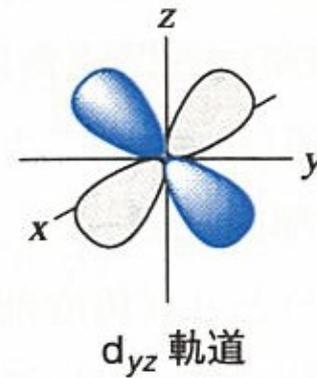
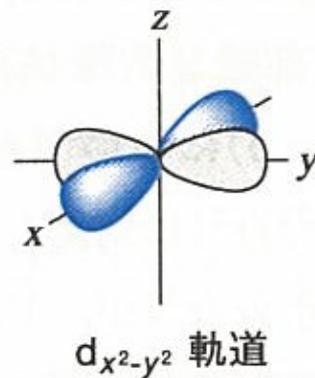
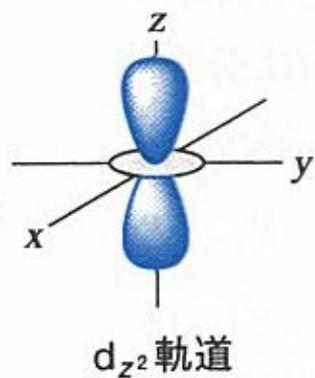
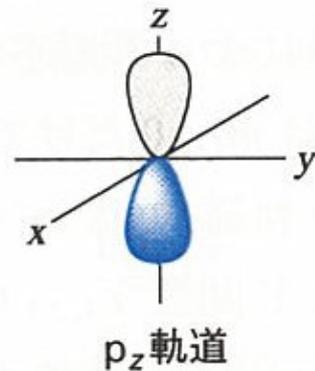
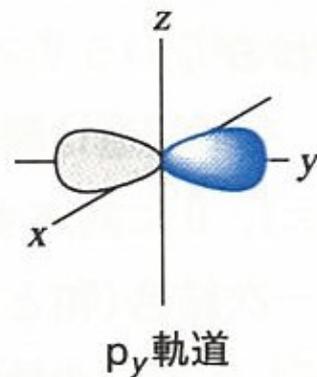
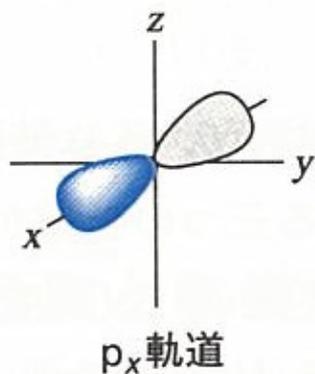
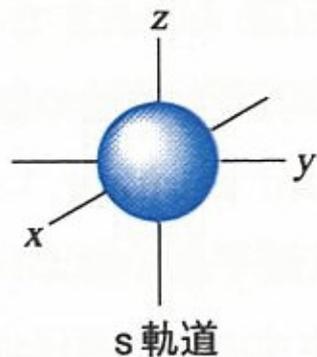
ここで ψ は電子に付随した波動関数の振幅であり、 E は系の全エネルギー、 V は系のポテンシャルエネルギー、 m が電子の質量、 \hbar がプランク定数($\hbar = h/2\pi$ で、 x 、 y 、 z が通常の直交座標である。

ある単位体積中に電子を見出す確率は ψ^2 に比例する。



実際に計算をしていないので、イメージが沸かないが、電子は原子核のまわりのある領域に分布していて、その存在確率は分かるけれど、位置は特定できないので、軌道の広がりによって存在確率が描かれる

軌道の形はこう描かれる



(a)

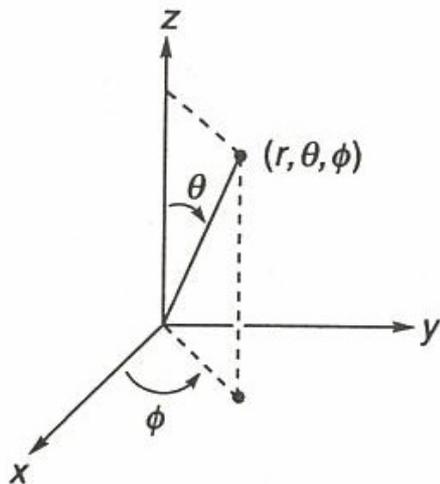
1.2 量子数と軌道

電子密度分布を考える

$$\text{波動関数 } \psi = \underbrace{R_{n,l}(r)}_{\text{動径部分}} \cdot \underbrace{Y_{l,m_l}(\theta, \phi)}_{\text{角度部分}}$$

動径部分 $R_{n,l}(r)$: $A \cdot \exp(-B r)$ (A と B は定数、核からの距離 r の関数)

角度部分 $Y_{l,m_l}(\theta, \phi)$: 極座標における θ と ϕ の関数



極座標

$$x = r \sin\theta \cos\phi$$

$$y = r \sin\theta \sin\phi$$

$$z = r \cos\theta$$

1.2 量子数と軌道

表1.1 量子数と軌道の関係

n	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	
l	0	0	1	1	1	0	1	1	1	2	2	2	2	
m_l	0	0	0	(1	-1)	0	0	(1	-1)	0	(1	-1)	(2	-2)
軌道	1s	2s	2p _z	(2p _x ,	2p _y)	3s	3p _z	(3p _x ,	3p _y)	3d _{z²}	(3d _{xz} ,	3d _{yz})	(3d _{xy} ,	3d _{x²-y²})

n : 主量子数: 軌道の広がりを決める。K: 1, L: 2, M: 3, N: 4, . . .

l : 副量子数: 軌道の形を決める。s: 0、p: 1、d: 2、f: 3

m_l : 磁気量子数: 軌道の分布方向を決める。+ l ~ - l ($2l+1$ 個)

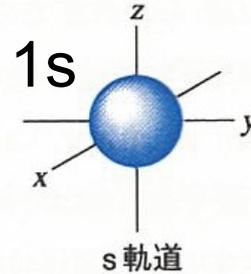
s : スピン量子数: $1/2$

m_s : スピン磁気量子数: s の z 成分 : $\pm 1/2$

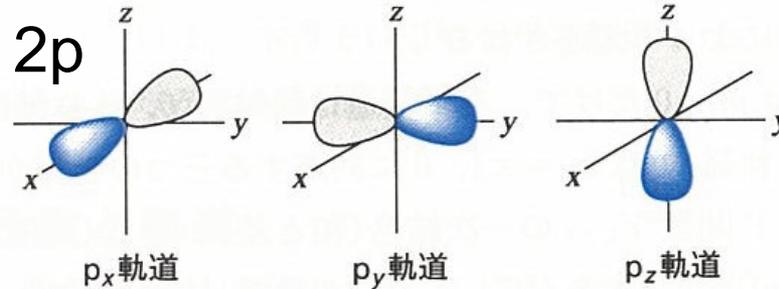
原子軌道の形と数

$$\psi = \underbrace{R_{n,l}(r)}_{\text{動径部分}} \cdot \underbrace{Y_{l,m_l}(\theta, \varphi)}_{\text{角度部分}}$$

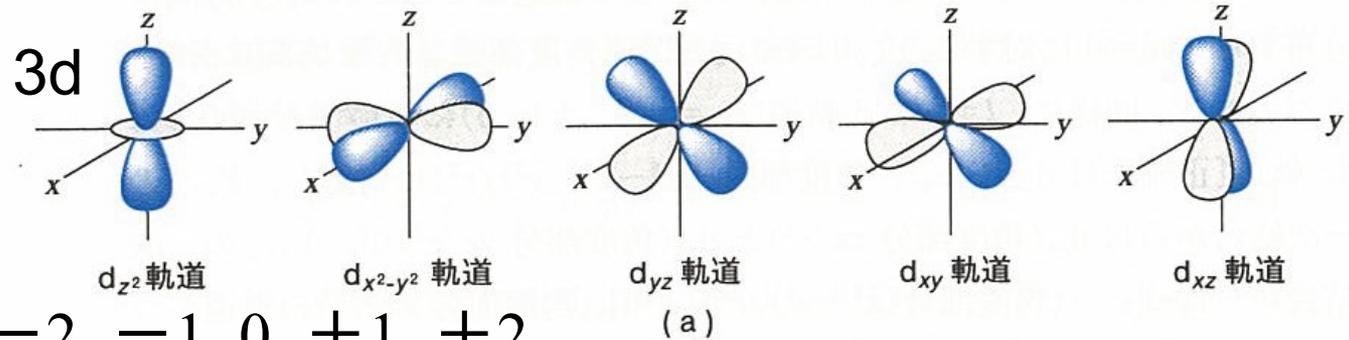
主量子数 $n = 1$
 副量子数 $l = 0$
 磁気量子数 $m_l = 0$



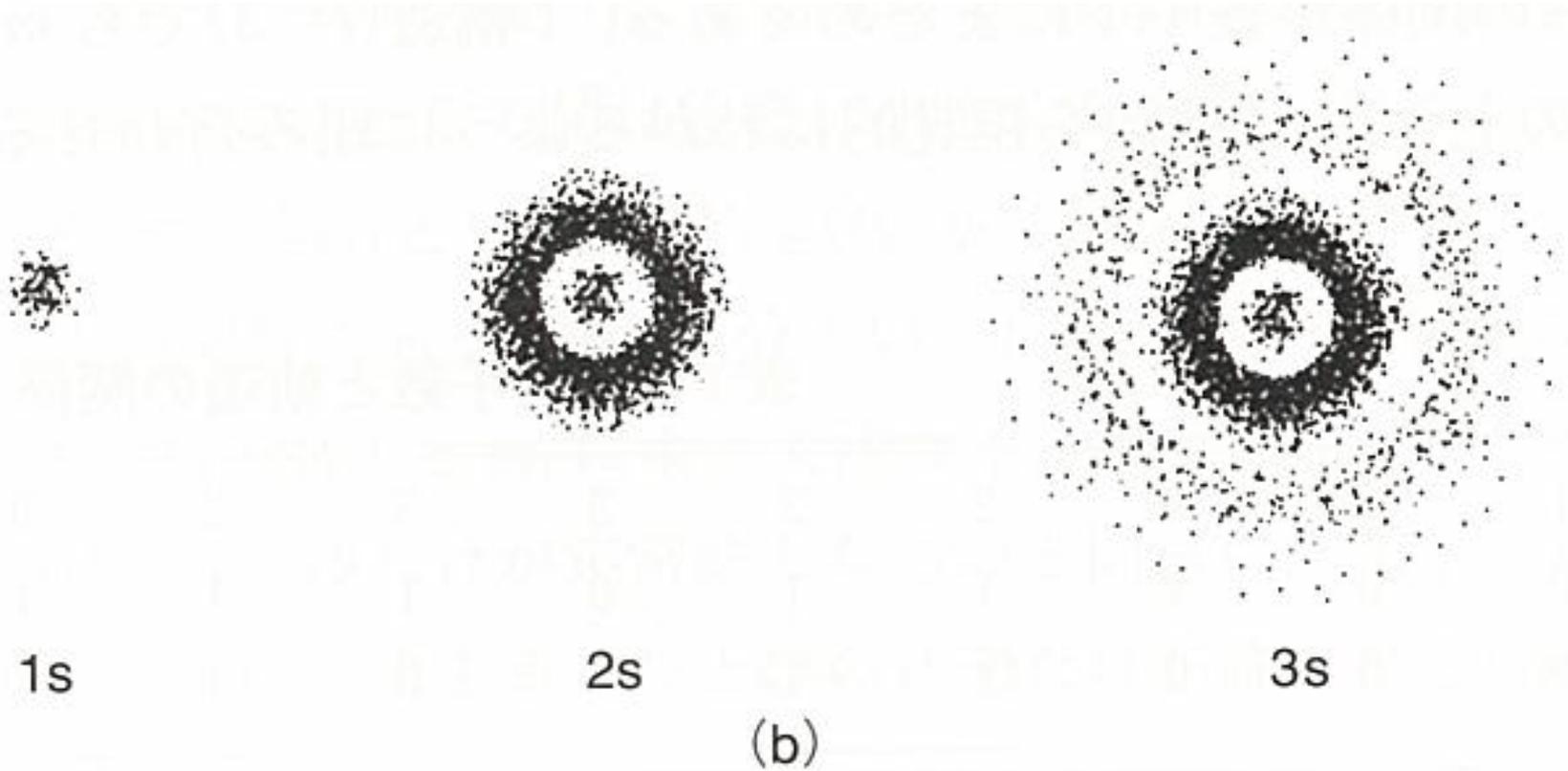
主量子数 $n = 2$
 副量子数 $l = 1$
 磁気量子数 $m_l = -1, 0, +1$



主量子数 $n = 3$
 副量子数 $l = 2$
 磁気量子数 $m_l = -2, -1, 0, +1, +2$



s軌道の電子分布 (点で表した場合)



副量子数 $l = 0$

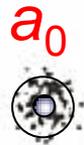
磁気量子数 $m_l = 0$

主量子数 n が大きくなると広がる

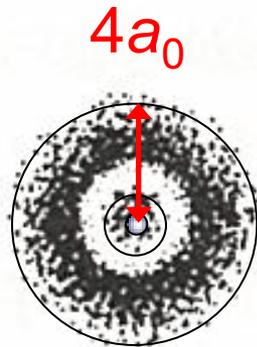
水素原子の各軌道は原子核からどの程度広がっているか？

水素原子1s ($Z = 1$)の場合

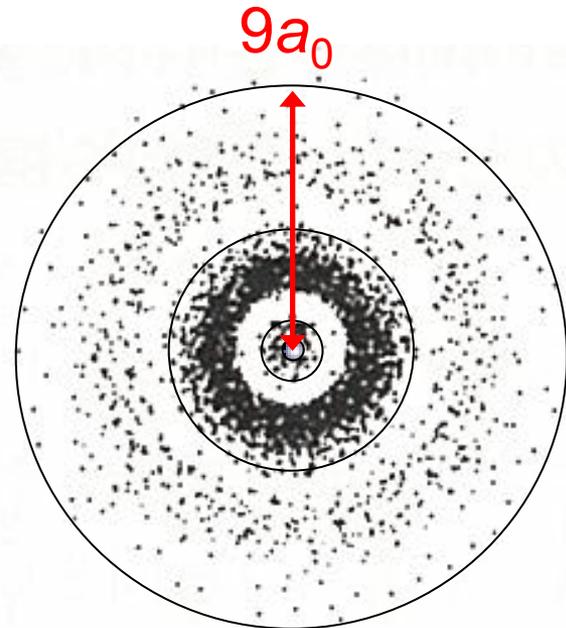
$$\begin{aligned} \text{核からの距離 } r &= \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi m Z e^2} = 5.292 \times 10^{-11} \text{ [m]} \\ &= 0.5292 \text{ \AA} \text{ (ボーア半径 } a_0) \end{aligned}$$



1s



2s



3s

(b)

1.3 電子を軌道に詰める

波動方程式の解

$$E = - \frac{mZ^2e^4}{8n^2h^2\epsilon_0^2} \times N_A = 1.312 \times 10^6 Z^2/n^2 \text{ [J/mol]}$$
$$= - \frac{mZ^2e^4}{8n^2h^2\epsilon_0^2} \div (1.60219 \times 10^{-19}) = 13.60 Z^2/n^2 \text{ [eV]}$$

h : プランク定数 (6.62620×10^{-34} Js)

m : 電子の静止質量 (9.10956×10^{-31} kg)

Z : 原子核の正電荷 (水素原子では1)

e : 電子の電荷 (1.60219×10^{-19} C)

ϵ_0 : 真空の誘電率 (8.854×10^{-12} F/m)

N_A : アボガドロ数 (6.02×10^{23})

1.3 電子を軌道に詰める

エネルギー準位の絶対値は主量子数の二乗に反比例し、 $n = \infty$ ではゼロ (符号に注意)

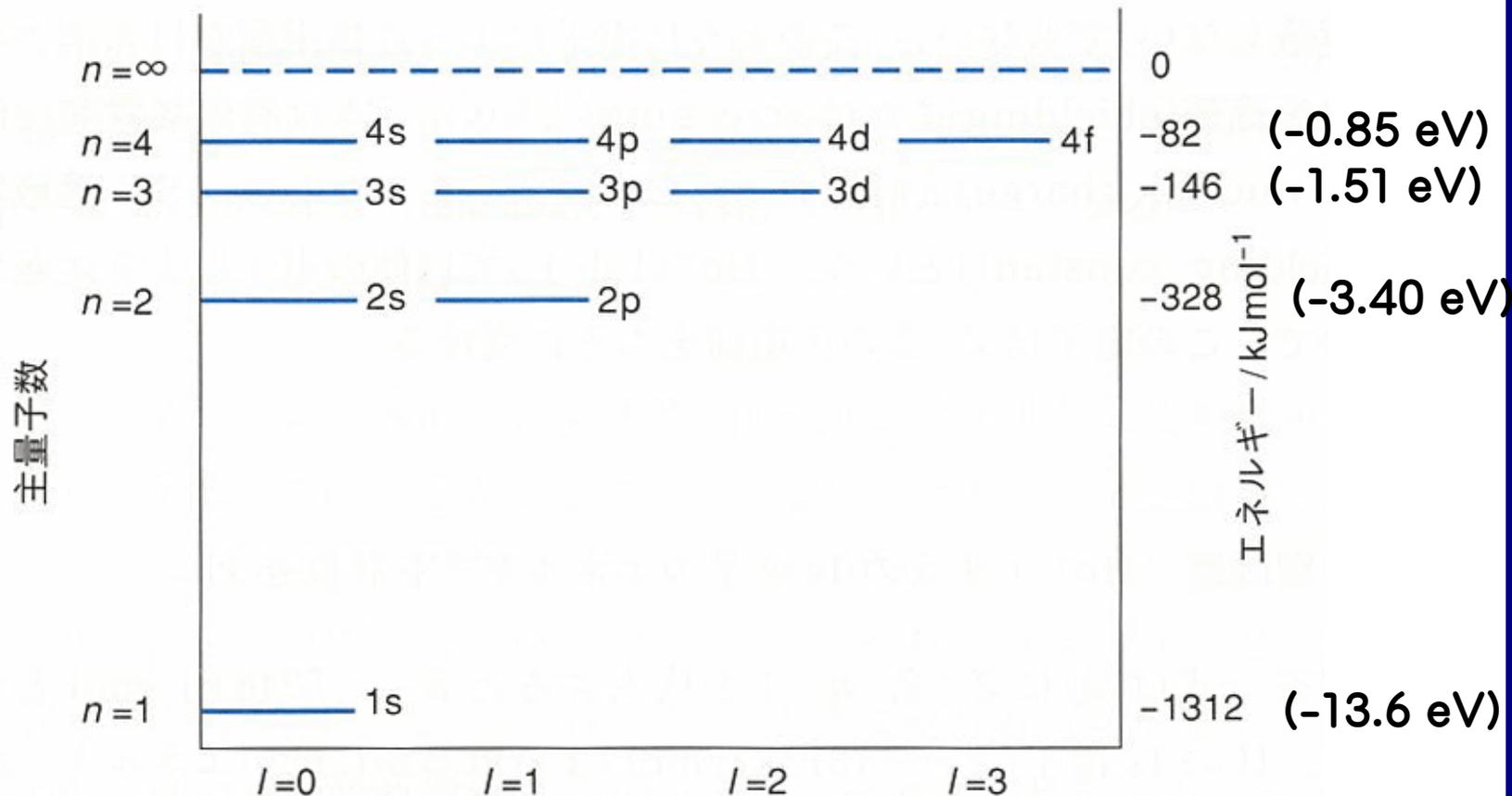
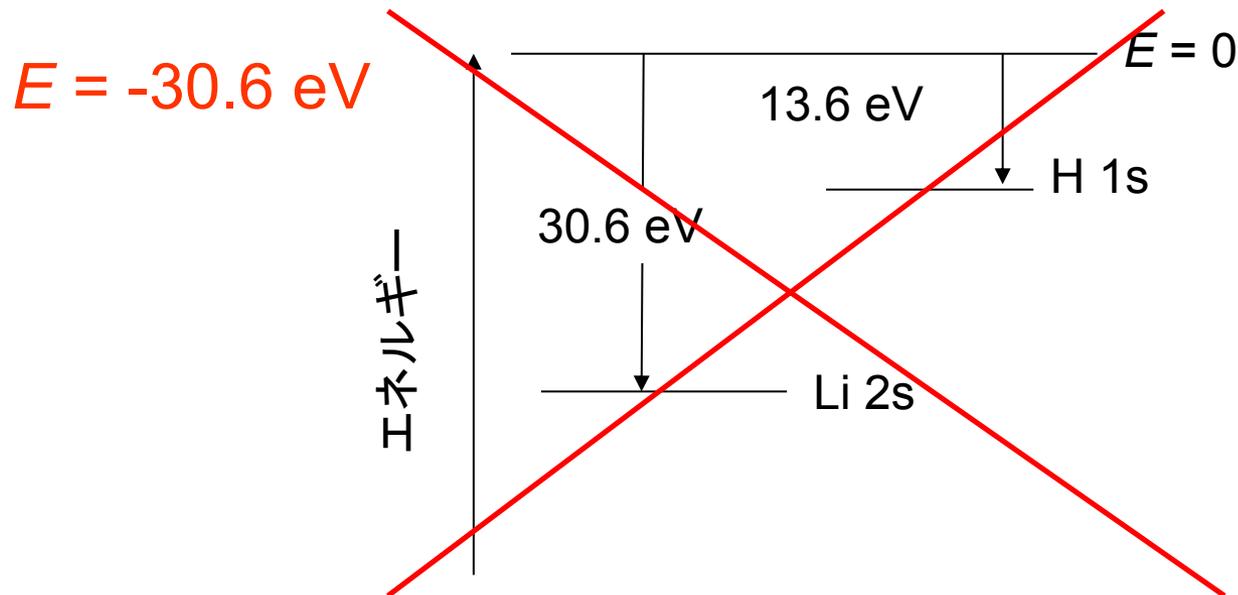


図1.2 水素原子 ($Z=1$) の軌道エネルギー準位図

Li (Z = 3) の2s電子について計算してみよう

$$E = - \frac{mZ^2e^4}{8n^2h^2\epsilon_0^2} \times N_A = 1.312 \times 10^6 Z^2/n^2 \text{ [J/mol]}$$
$$= - \frac{mZ^2e^4}{8n^2h^2\epsilon_0^2} \div (1.60219 \times 10^{-19}) = 13.60 Z^2/n^2 \text{ [eV]}$$

原子核の正電荷 $Z = 3$ 、2sの主量子数 $n = 2$ を代入すればよい。



原子価軌道のエネルギー

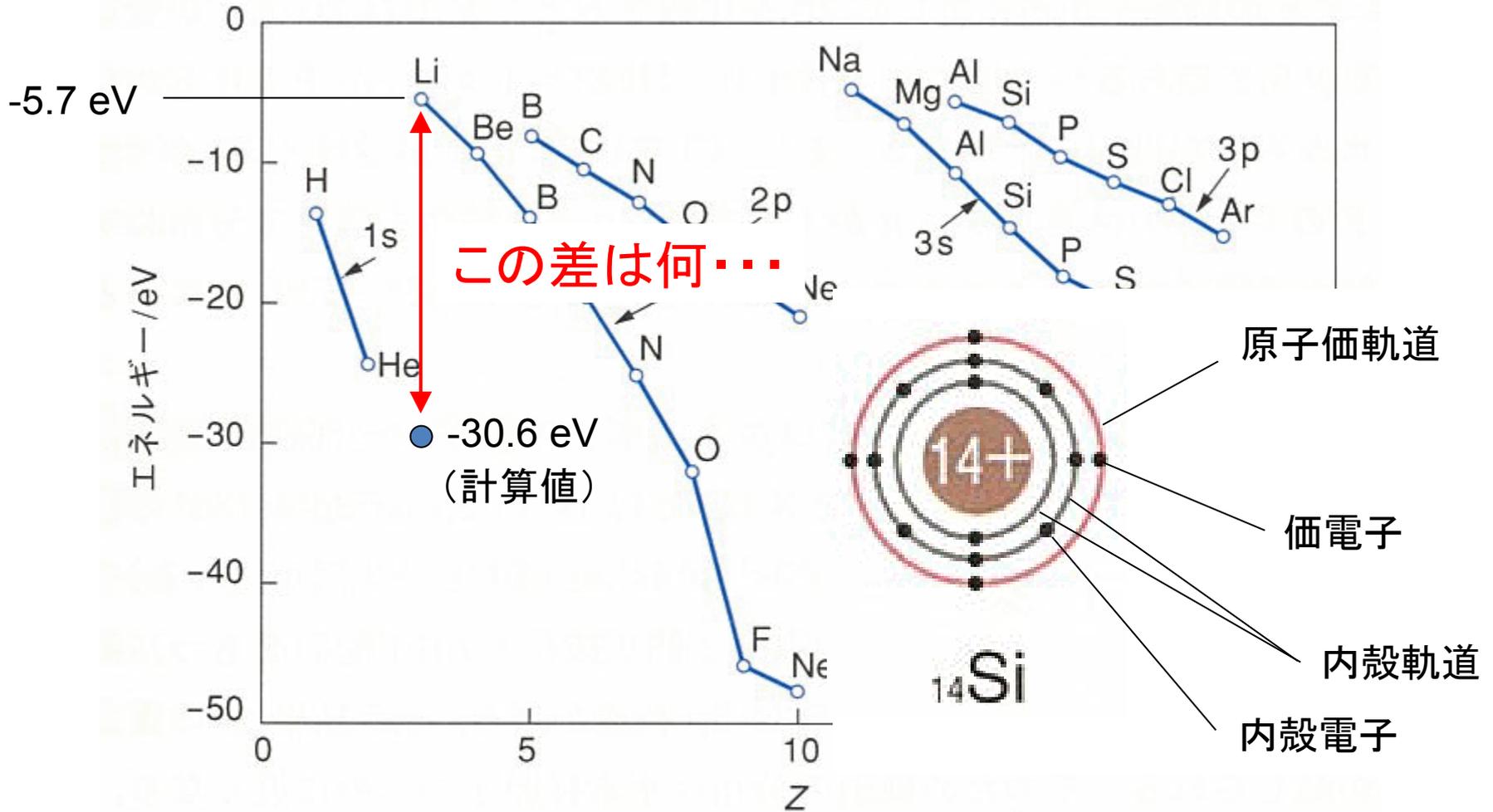


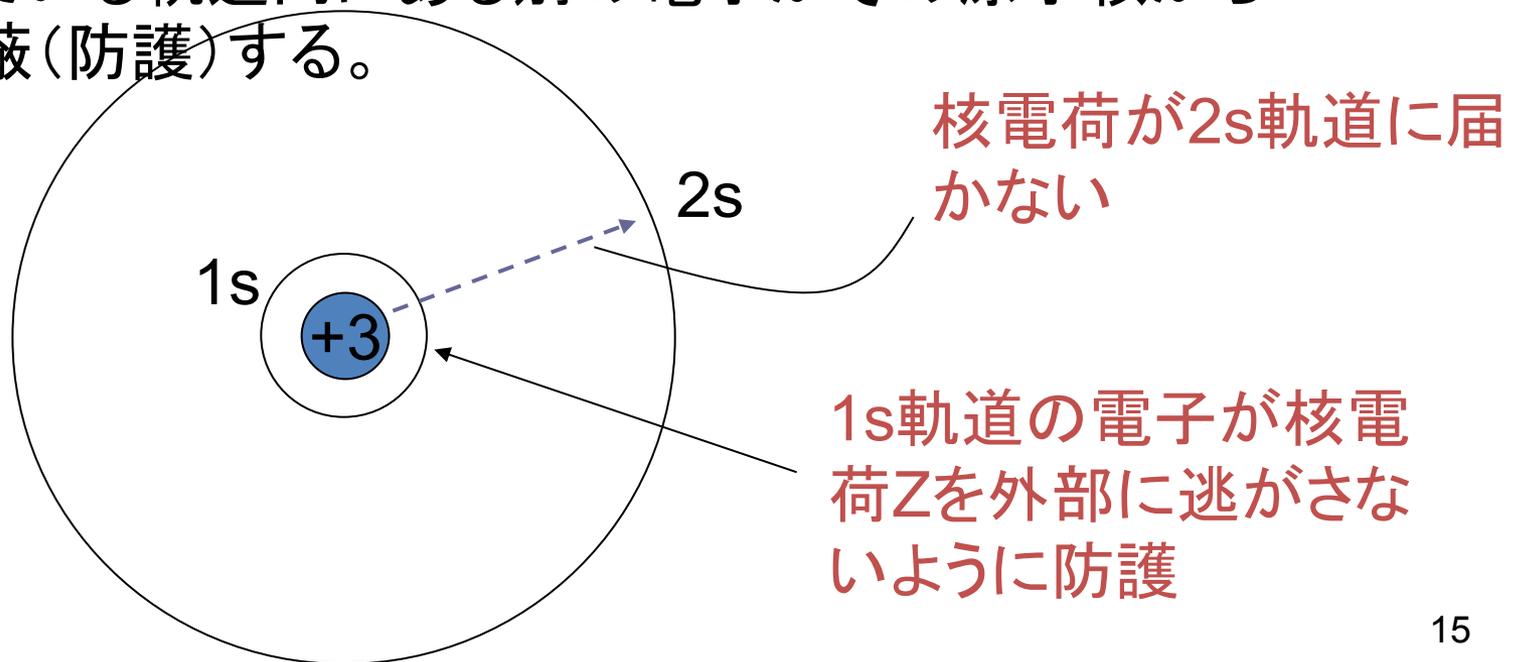
図1.4 原子価軌道のエネルギー
1eV = 96.48kJ/mol

1.3.1 遮蔽

Li ($Z = 3$) 電子配置 $1s^2 2s^1$

1つの電子が実際に感じる原子核電荷の程度は、その電子が収容されてる軌道のタイプに依存している。

問題にしている電子を、その電子より内部に入り込んでいる軌道内にある別の電子がその原子核から遮蔽(防護)する。



スレーターの規則

$$Z^* = Z - S$$

Z: 原子核の正電荷
S: 遮蔽定数(届かない正電荷)

- ①軌道を[1s] [2s, 2p] [3s, 3p] [3d] [4s, 4p] [4d] [4f] [5s, 5p]のように分類し、いま問題にしている電子が属しているグループよりも右側にある電子の遮蔽は無視する
- ②問題の電子が属するグループ内の他の各電子は0.35だけSに寄与する(1sは0.30)
- ③主量子数が $n-1$ のグループの各電子は0.85の寄与をする
- ④主量子数が $n-2$ とそれ以下のグループの各電子の寄与は1
- ⑤問題の電子が[nd] や [nf] の場合、③と④は成立せず、その前の各電子はすべて1の寄与をする

演習問題

F ($Z = 9$) 原子の1s、2s、2p電子が受ける有効核電荷 Z^* を求めよ。

F原子の電子配置 $[1s^2][2s^22p^5]$

・1s電子: 1sの他の電子の遮蔽定数 $S = 0.3$

$$Z^* = 9 - 0.3 \times 1 = 8.7$$

・2s、2p電子: $[2s^22p^5]$ グループの4個の電子の寄与

$$0.35 \times 6 = 2.1$$

$[1s^2]$ グループの2個の電子の寄与

$$0.85 \times 2 = 1.7$$

$$Z^* = 9 - 2.1 - 1.7 = 5.2$$

演習問題

Zn ($Z = 30$) 原子の4s、3d電子が受ける有効核電荷 Z^* を求めよ。

Zn原子の電子配置 $[1s^2] [2s^2 2p^6] [3s^2 3p^6] [3d^{10}] [4s^2]$

・4s電子: 4sの他の電子の寄与 $0.35 \times 1 = 0.35$

$[3s^2 3p^6 3d^{10}]$ の寄与 $0.85 \times 18 = 15.3$

$[2s^2 2p^6]$ の寄与 $1 \times 8 = 8$

$[1s^2]$ の寄与 $1 \times 2 = 2$

$$Z^* = 30 - 0.35 - 15.3 - 8 - 2 = 4.35$$

・3d電子: $[3d^{10}]$ の9個の寄与 $0.35 \times 9 = 3.15$

$[3s^2 3p^6]$ の8個の寄与 $1 \times 8 = 8$

$[1s^2] [2s^2 2p^6]$ の10個の寄与 $1 \times 10 = 10$

$$Z^* = 30 - 3.15 - 8 - 10 = 8.85$$

演習問題

P ($Z = 15$)の3p価電子が受ける有効核電荷 Z^* を計算せよ。

① P原子の電子配置 $[1s^2] [2s^2 2p^6] [3s^2 3p^3]$

② $[3s^2 3p^3]$ グループの4個の電子の寄与 $0.35 \times 4 = 1.4$

③ $[2s^2 2p^6]$ グループの6個の電子の寄与 $0.85 \times 6 = 5.1$

④ $[1s^2]$ グループの2個の電子の寄与 $1.0 \times 2 = 2$

$$Z^* = 15 - 1.4 - 5.1 - 2 = 6.5$$

スレーターの有効核電荷 Z^*

表1.2 スレーターの有効核電荷 Z^*

Z	1s	2s, 2p	Z	3s, 3p	Z	4s, 4p
1 (H)	1.0					
2 (He)	1.7					
3 (Li)	2.7	1.30	11 (Na)	2.20	19 (K)	2.20
						2.85
5 (B)	4.7	2.00	13 (Al)	3.50	31 (Ga)	5.00
6 (C)	5.7	3.25	14 (Si)	4.15	32 (Ge)	5.65
7 (N)	6.7	3.90	15 (P)	4.80	33 (As)	6.30
8 (O)	7.7	4.55	16 (S)	5.45	34 (Se)	6.95
9 (F)	8.7	5.20	17 (Cl)	6.10	35 (Br)	7.60
10 (Ne)	9.7	5.85	18 (Ar)	6.75	36 (Kr)	8.25

$$13.60 Z^{*2}/n^2 = 13.60 \times 1.3 \times 1.3 / 4 = -5.75 \text{ eV}$$

原子価軌道のエネルギー

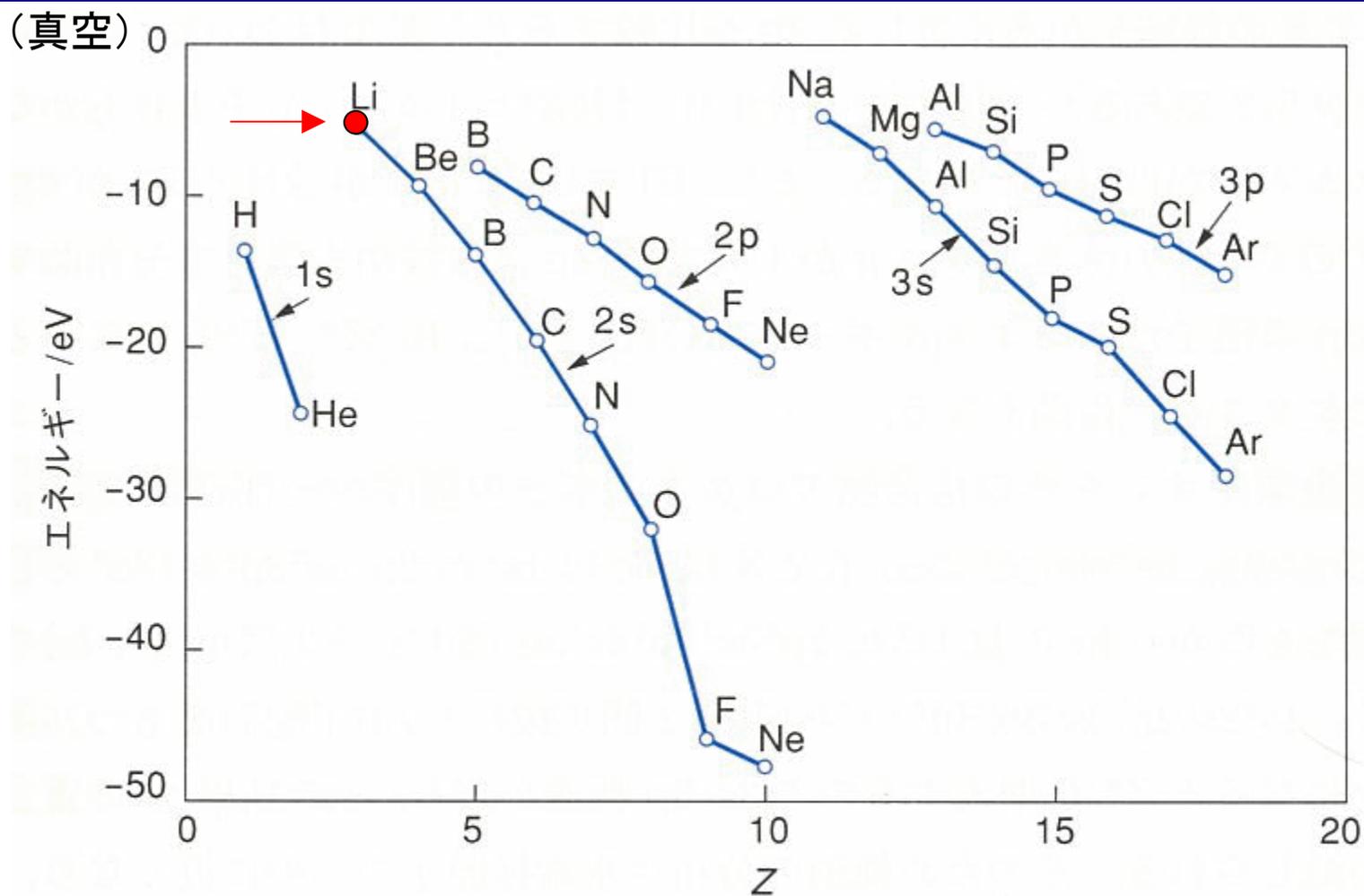
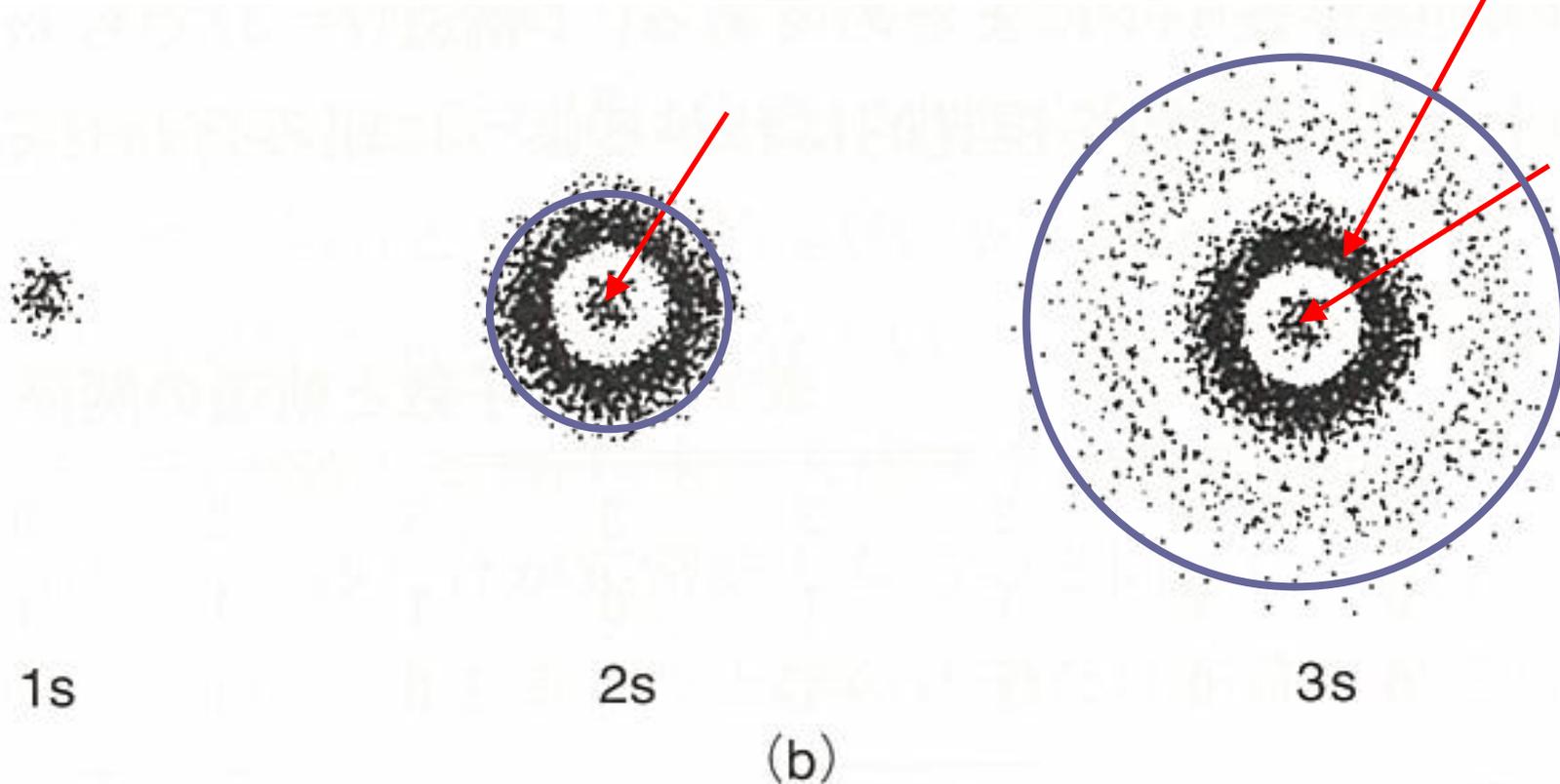


図1.4 原子価軌道のエネルギー

1eV = 96.48kJ/mol

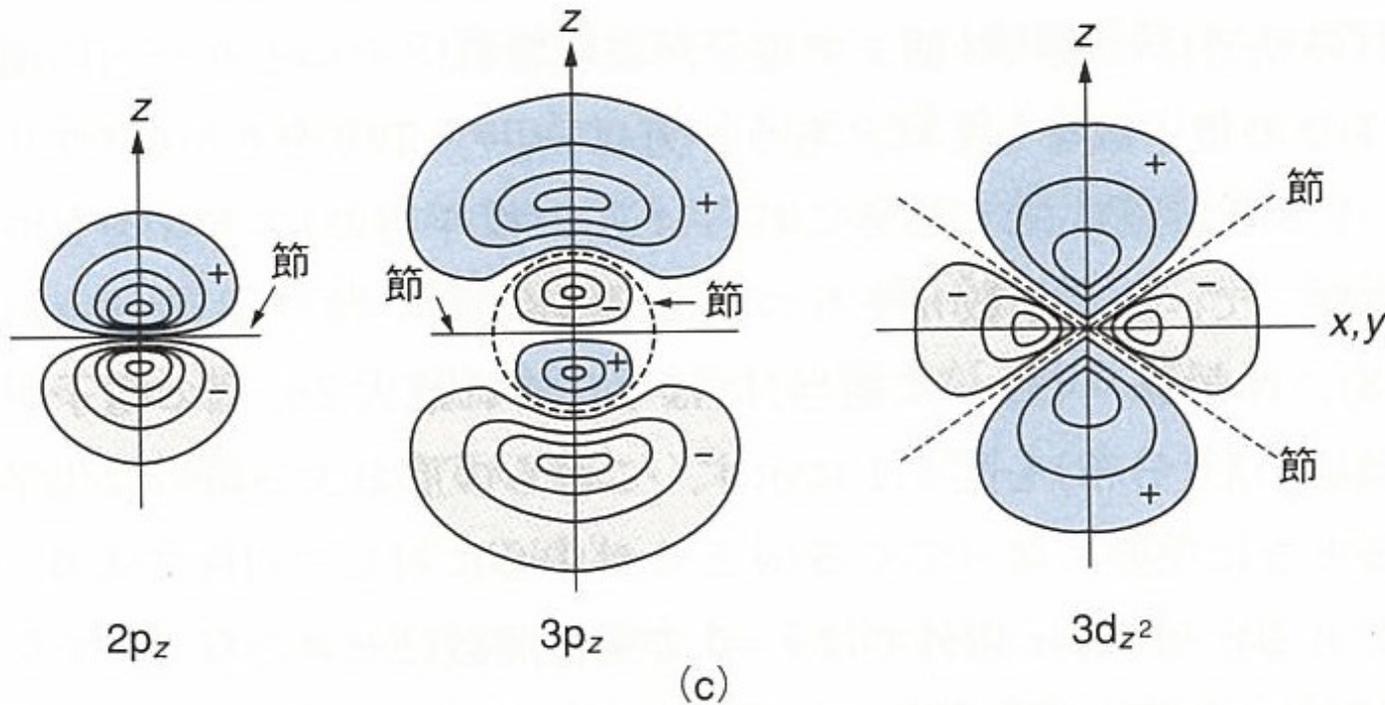
1.3.2 軌道の動径分布と貫入

赤線の電子密度は何故あるのだろう



答え： R部分 (広がりに対応) で節ができるため

電子分布 (等高線で表した場合)



節面： 波動関数がゼロになる = 電子の存在確率ゼロ

主量子数が n の軌道は R 部分で $(n-l-1)$ 個、Y 部分で l 個、
合計 $(n-1)$ 個の節を持つ

演習問題

1. $3d_z^2$ 軌道にはいくつの節があるか。

主量子数が n の軌道は R 部分で $(n-l-1)$ 個、 Y 部分で l 個、
合計 $(n-1)$ 個の節を持つ

主量子数 $n = 3$ 、副量子数 $l = 2$ なので、 R 部分で $(3-2-1)$
 $= 0$ 個、 Y 部分で 2 個、合計 $(3-1) = 2$ 個

1.3.2 軌道の動径分布と貫入

$4\pi r^2 R^2$: 核間距離 r において電子を見出す確率

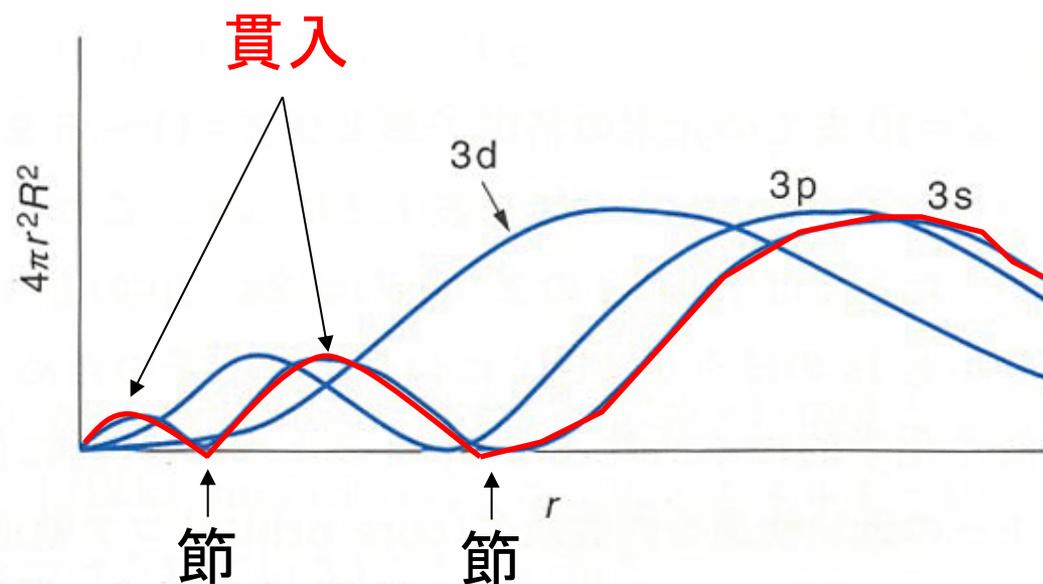
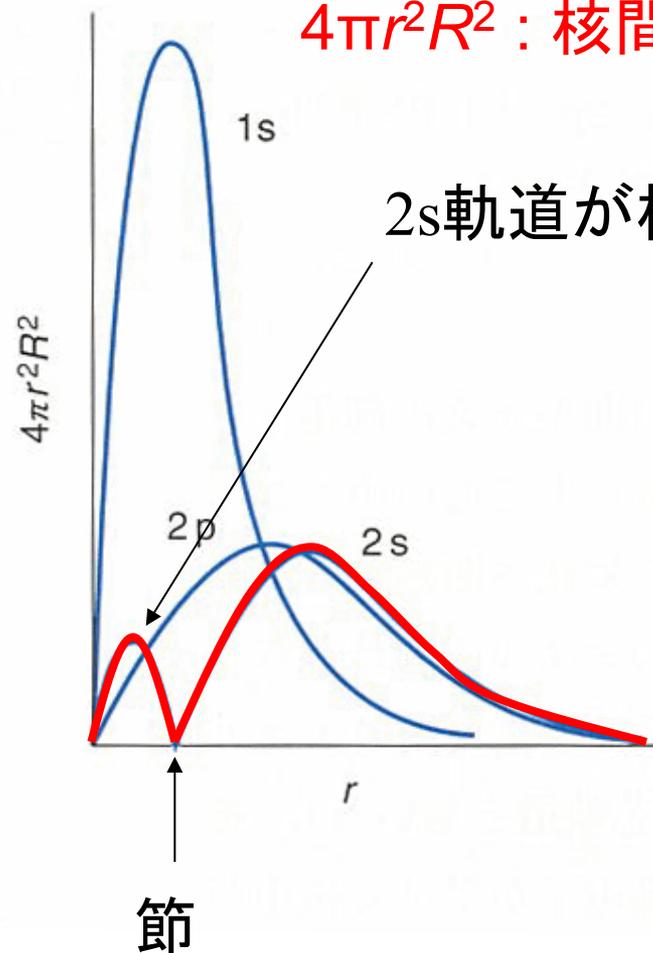


図1.3 水素原子の動径分布関数

1.3.2 軌道の動径分布と貫入

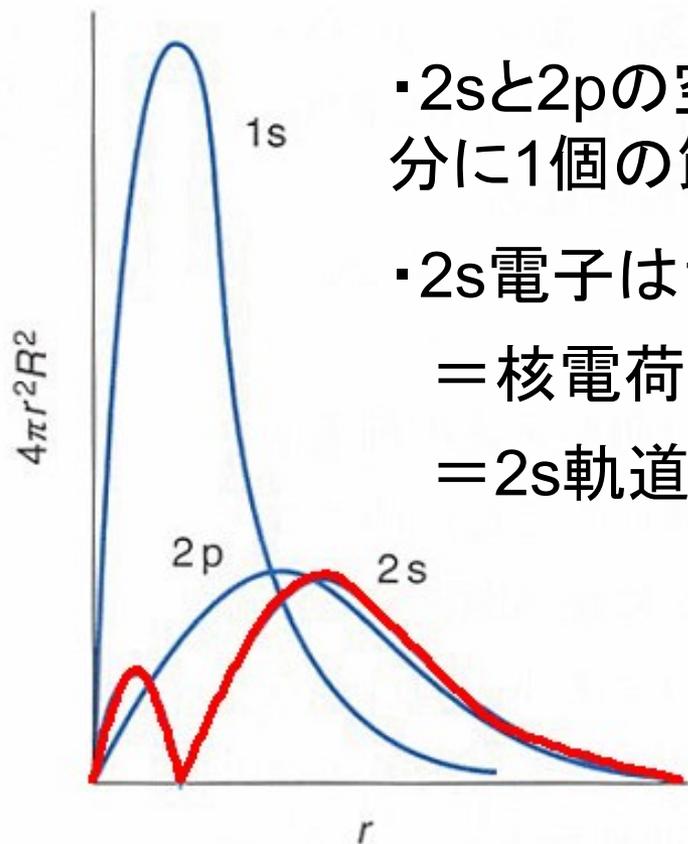
- ・主量子数 n が増大すると電子の分布が核から遠くなる

- ・2sと2pの空間的広がりほぼ同じだが、2sではR部分に1個の節があり、軌道が貫入している

- ・2s電子は1s電子の遮蔽を受けにくい

 - =核電荷に強く引き寄せられる

 - =2s軌道は2p軌道よりも核に近く、エネルギーが低い



エネルギー

ns 軌道 < np 軌道

1.3.2 軌道の動径分布と貫入

有効核電荷 Z^* 増大
エネルギー低下
軌道は縮む

有効核電荷 Z^* 増大
主量子数 n 増大
エネルギー増加
軌道は広がる

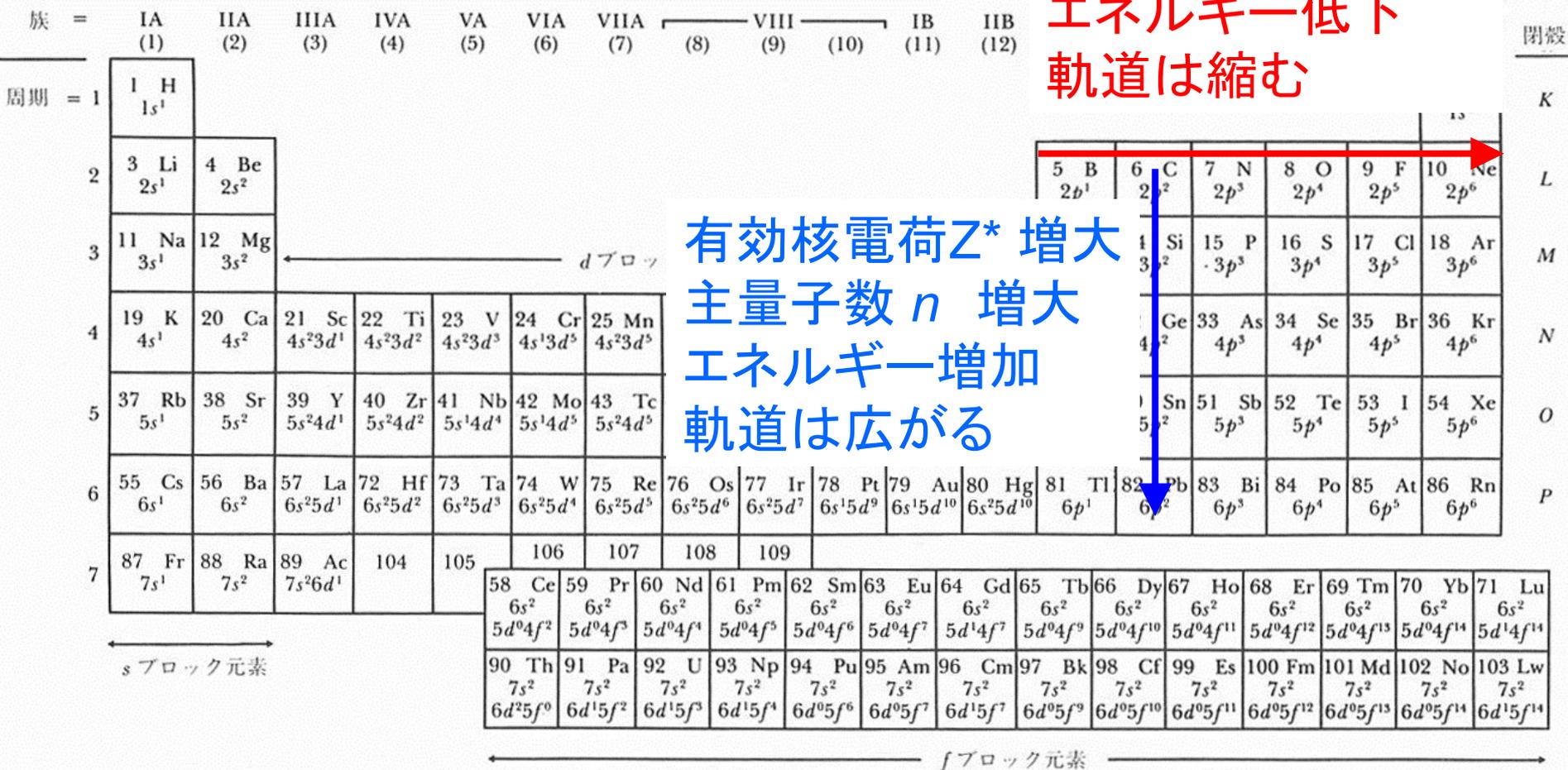
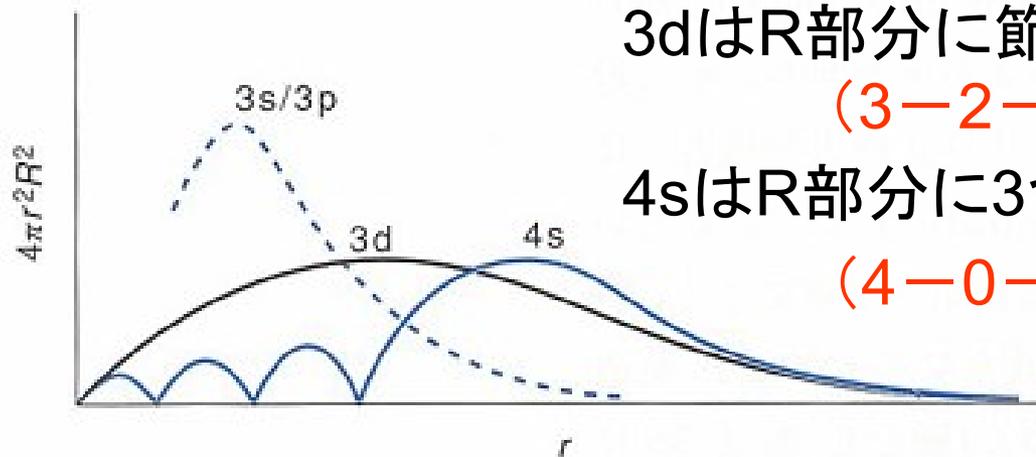


図 2-12 電子配置の周期変化。各元素に対して外殻電子すなわち識別電子で示してある

多電子原子の動径分布

3dと4sを比較してみる



3dはR部分に節がない

$$(3-2-1)=0$$

4sはR部分に3つの節を持つ

$$(4-0-1)=3$$

- ・4s電子は3d電子に比べ、3sや3p電子の遮蔽を受けにくい
=核電荷に強く引き寄せられる
=4s軌道は3d軌道よりも核に近く、エネルギーが低い



原子における電子の詰まり方

$$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s \leq 3d < 4p < 5s \leq 4d < 5p < 6s \leq 4f \leq 5d < 6p < 7s$$

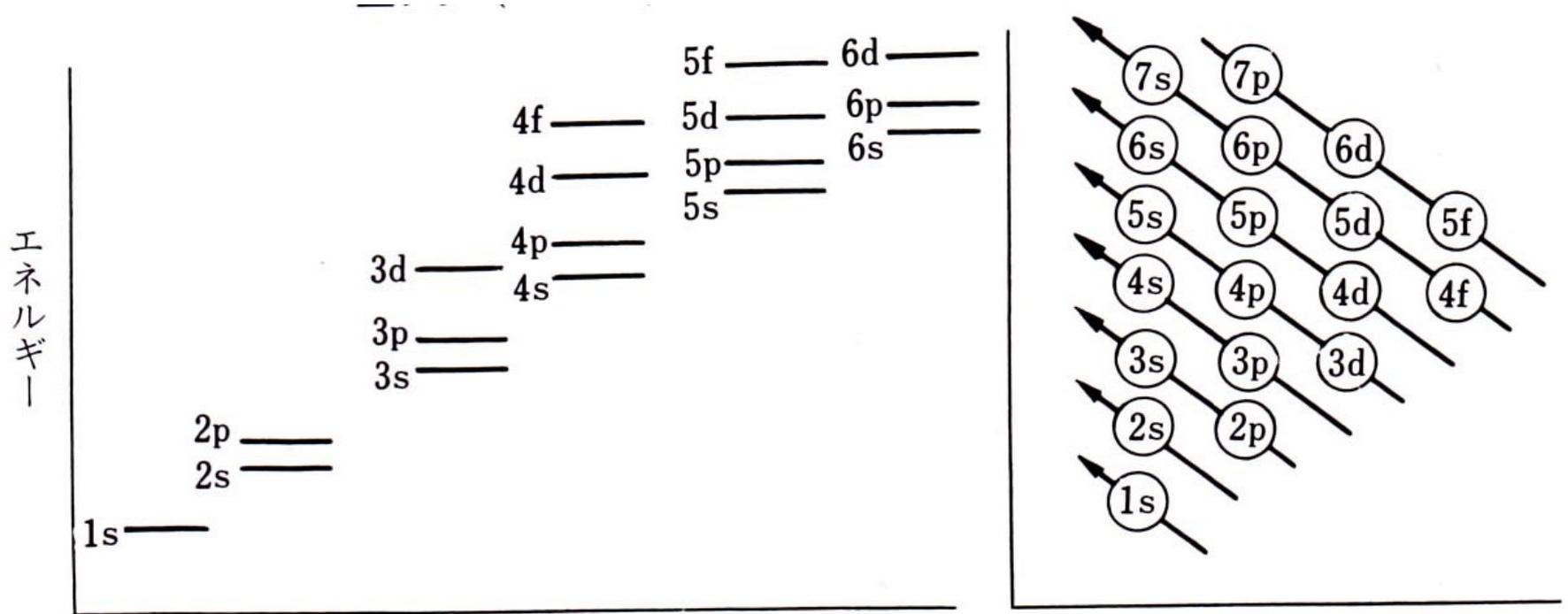
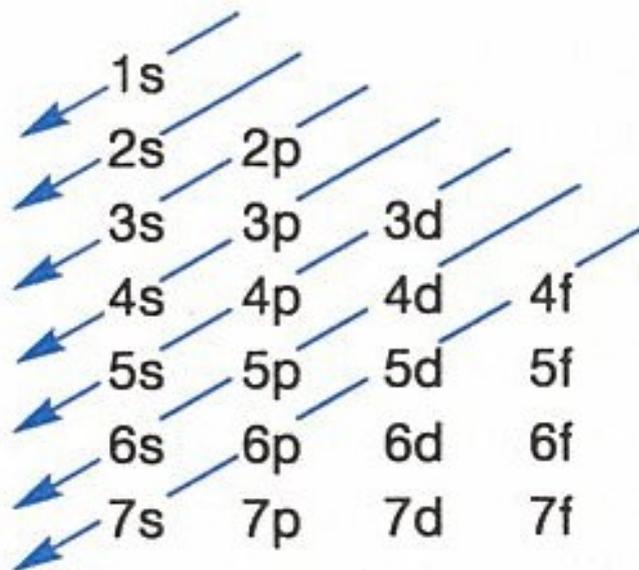


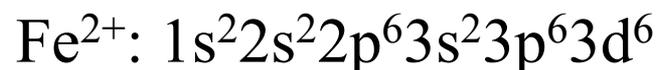
図 2-17 軌道のエネルギー準位とつめられる順序

電子の詰まり方



電子を詰める順序

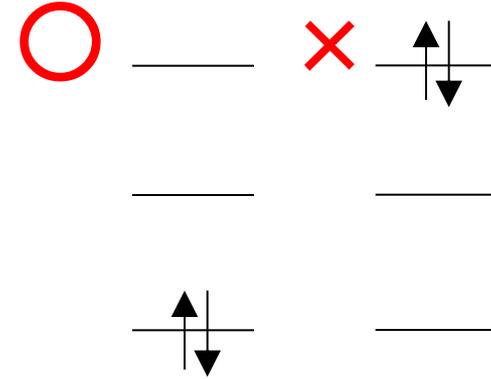
(例外)遷移金属イオンとその化合物: $4s > 3d$, $5s > 4d$, $6s > 5d$



電子の詰まり方

組立ての原理

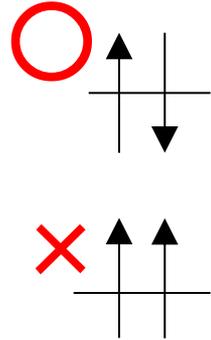
電子配置は、最低エネルギーの軌道から順に詰まる。



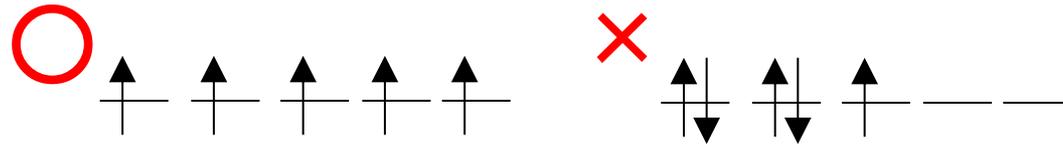
パウリの排他原理

主量子数、副量子数、
磁気量子数、スピン磁気量子数

四つの量子数がすべて同じ組となる二つの電子はない。
二つの電子が同じ軌道を占めるときは、それらは反対スピンをとらねばならない。(交換エネルギーの安定化のため)



フントの規則



軌道が縮重しているときは、スピン多重度最大が保たれる。
すなわち電子は、縮重している組の各軌道が半充填されるまでは対を作らない。

電子は軌道にどのように詰まるのだろうか

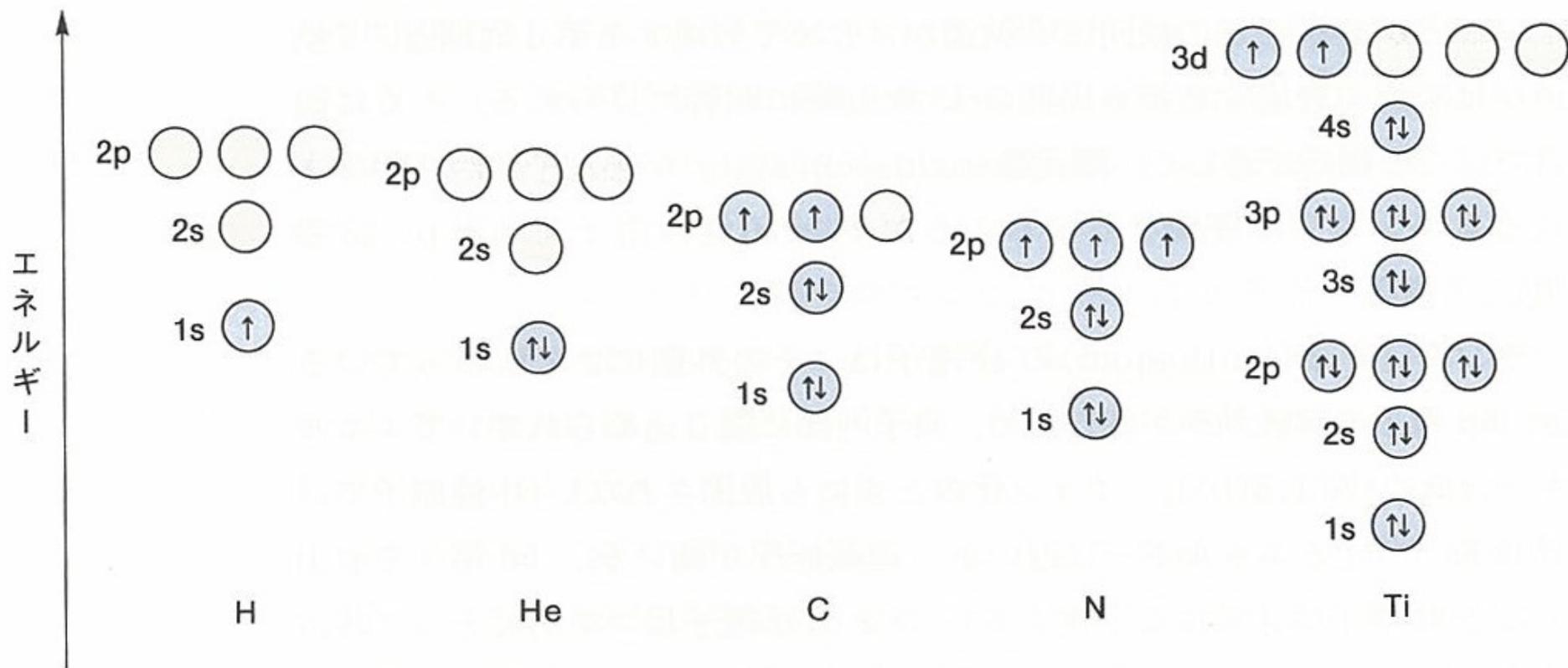
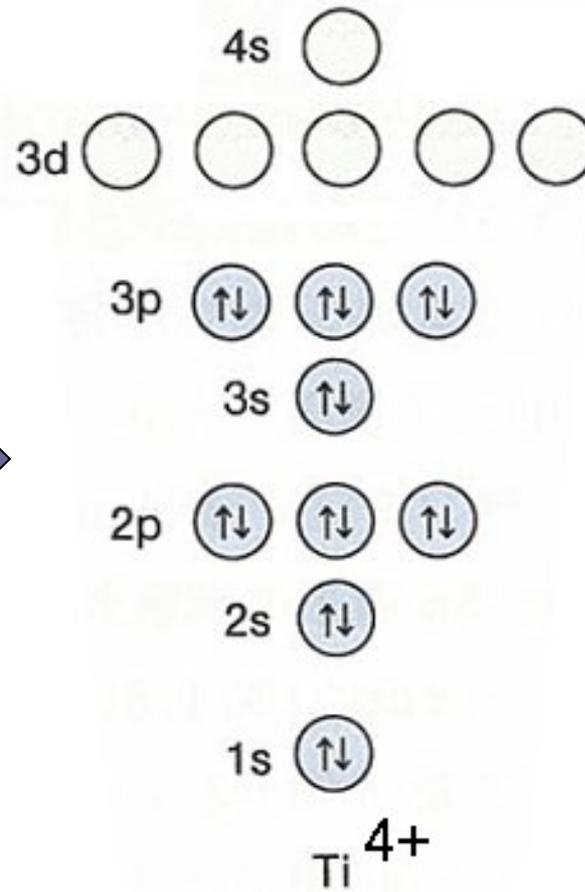
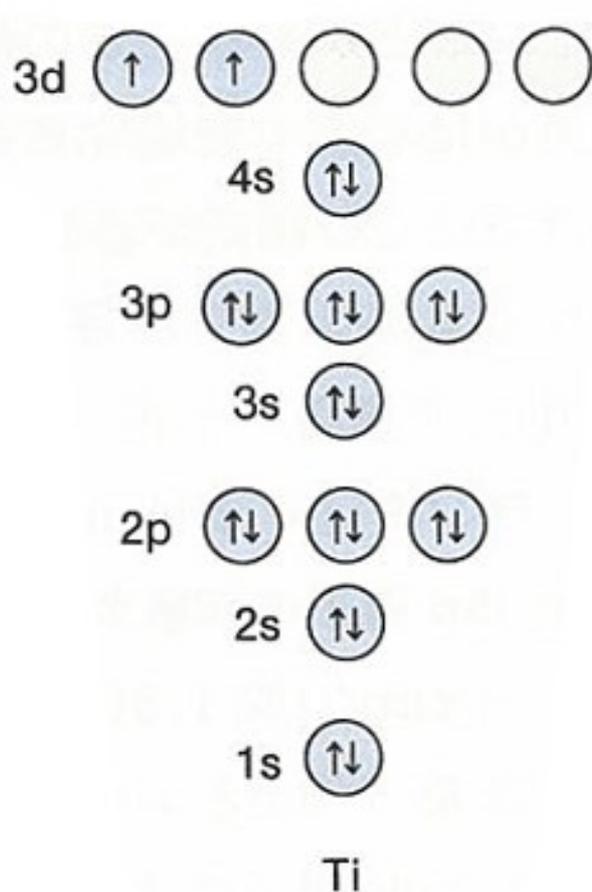


図1.6 数種の原子の電子配置とエネルギー準位図

(例外) 遷移金属イオンとその化合物: $4s > 3d$, $5s > 4d$, $6s > 5d$

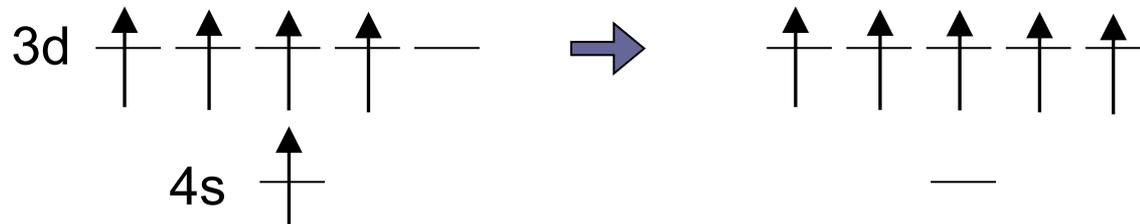


電子配置

表1.3 原子の電子配置

Z	元素	電子配置	Z	元素	電子配置	Z	元素	電子配置
1	H	1s ¹	15	P	[Ne] 3s ² 3p ³	29	Cu	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹
2	He	1s ²	16	S	[Ne] 3s ² 3p ⁴	30	Zn	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ²
3	Li	1s ² 2s ¹ ≡ [He] 2s ¹	17	Cl	[Ne] 3s ² 3p ⁵	31	Ga	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹
4	Be	[He] 2s ²	18	Ar	[Ne] 3s ² 3p ⁶	32	Ge	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ²
5	B	[He] 2s ² 2p ¹	19	K	[Ar] 4s ¹	33	As	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ³
6	C	[He] 2s ² 2p ²	20	Ca	[Ar] 4s ²	34	Se	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴
7	N	[He] 2s ² 2p ³	21	Sc	[Ar] 3d ¹ 4s ²	35	Br	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵
8	O	[He] 2s ² 2p ⁴	22	Ti	[Ar] 3d ² 4s ²	36	Kr	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶
9	F	[He] 2s ² 2p ⁵	23	V	[Ar] 3d ³ 4s ²	37	Rb	[Kr] 5s ¹
10	Ne	[He] 2s ² 2p ⁶	24	Cr	[Ar] 3d ⁵ 4s ¹	38	Sr	[Kr] 5s ²
11	Na	[Ne] 3s ¹	25	Mn	[Ar] 3d ⁵ 4s ²	39	Y	[Kr] 4d ¹ 5s ²
12	Mg	[Ne] 3s ²	26	Fe	[Ar] 3d ⁶ 4s ²	40	Zr	[Kr] 4d ² 5s ²
13	Al	[Ne] 3s ² 3p ¹	27	Co	[Ar] 3d ⁷ 4s ²	41	Nb	[Kr] 4d ⁴ 5s ¹
14	Si	[Ne] 3s ² 3p ²	28	Ni	[Ar] 3d ⁸ 4s ²			

d軌道が半分(5個)または全部(10個)満たされた配置は安定

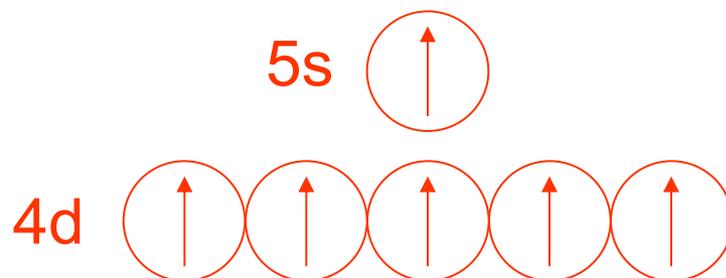


演習問題

Crと同族のMo ($Z = 42$)の電子配置と不対電子数を示せ。

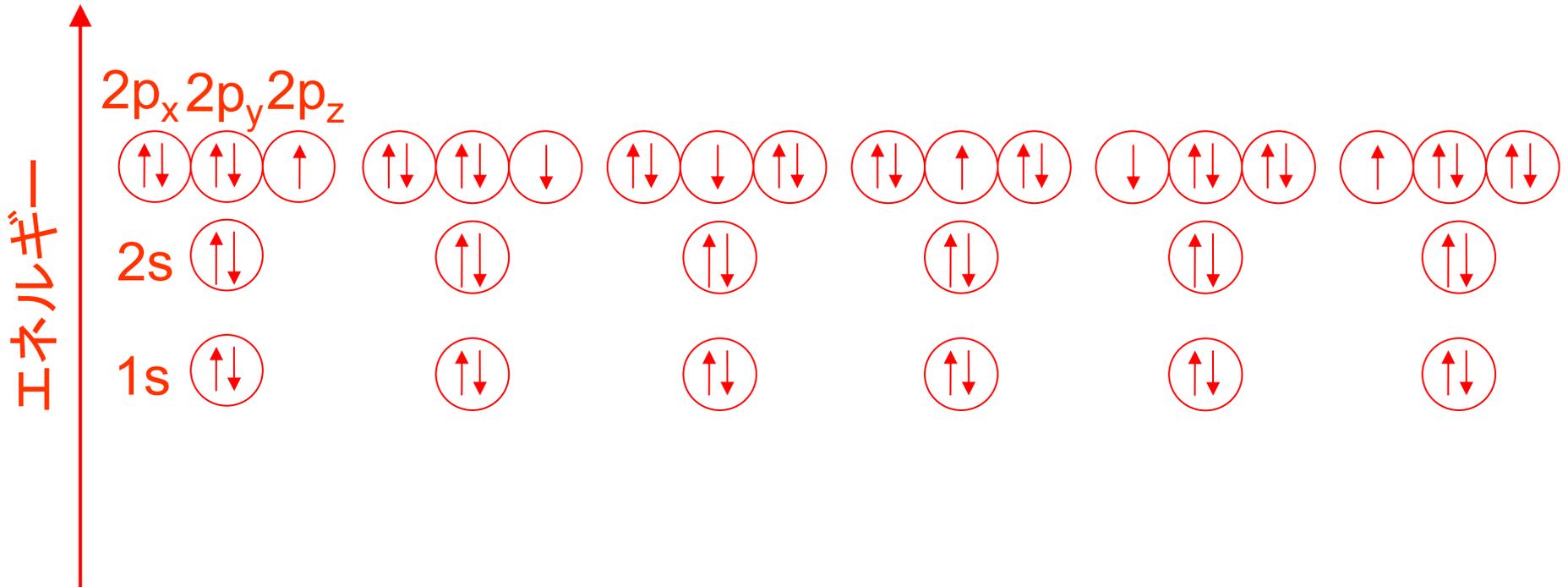
Mo原子の電子配置 $[\text{Kr}] 4d^5 5s^1$

d^5 なのですべて不対電子



演習問題

F ($Z = 9$)の電子配置を書き、Fには不対電子が1個あり、区別できる配置が六つあることを示せ。



1.4 周期表の成り立ち (メンデレーエフ)

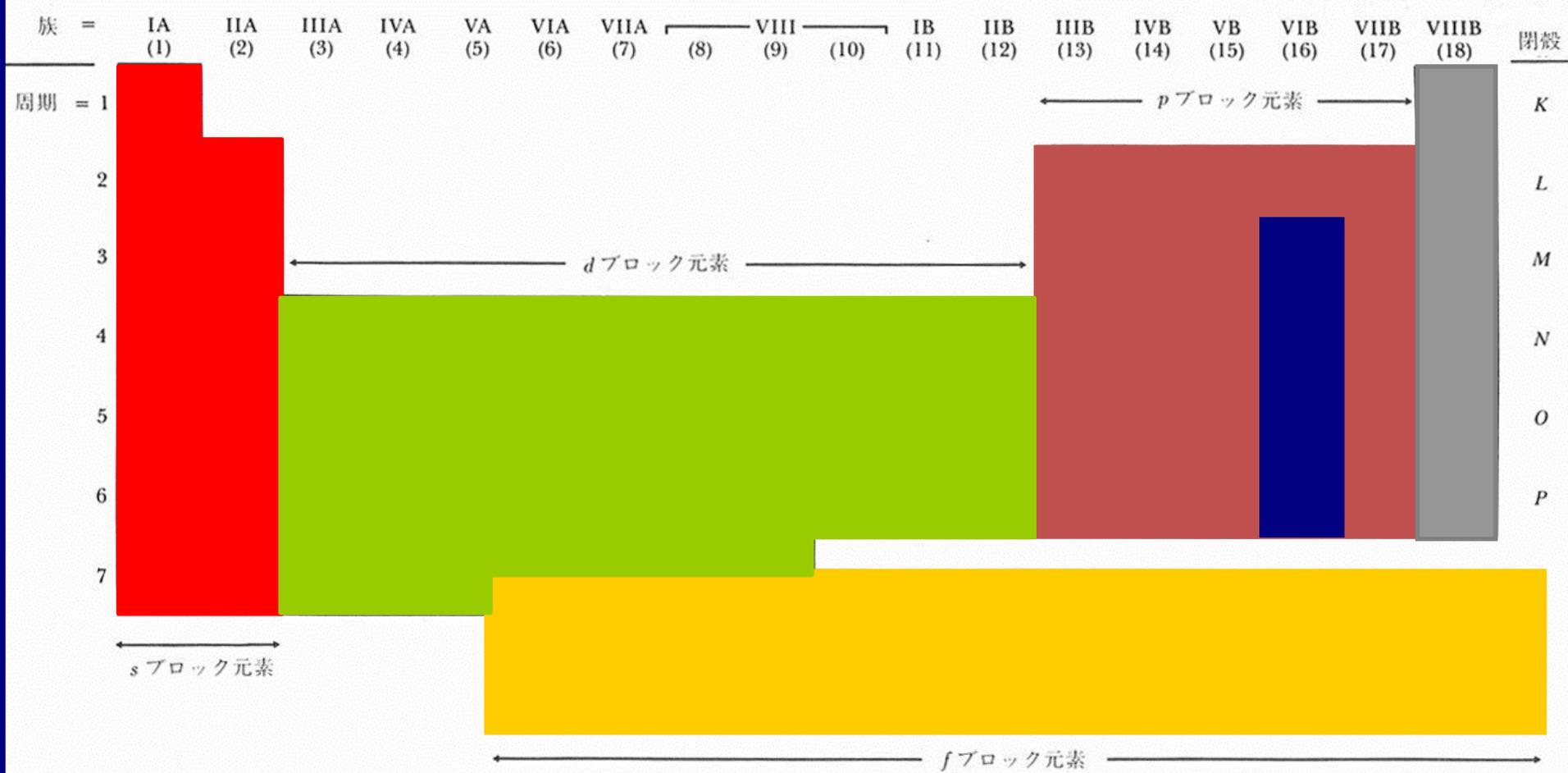


図 2-12 電子配置の周期変化。各元素に対して外殻電子すなわち識別電子で示してある

1.4 1族

・ ns^1 電子配置

・ H以外はアルカリ金属

・ $H^+ [1s^0]$: プロトン

・ $H^- [1s^2]$: ヒドリド (最強の塩基、 $LiAlH_4$ が有名)

族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
周期	1 1.008 1H 水素 $1s^1$ 13.60 2.2																		4.003 2He ヘリウム $1s^2$ 24.59
2	6.941 3Li リチウム [He]2s ¹ 5.39 1.0	10.81 5B ホウ素 [He]2s ² 2p ¹ 8.30 2.0	12.01 6C 炭素 [He]2s ² 2p ² 11.26 2.6	14.01 7N 窒素 [He]2s ² 2p ³ 14.53 3.0	16.00 8O 酸素 [He]2s ² 2p ⁴ 13.62 3.4	19.00 9F フッ素 [He]2s ² 2p ⁵ 17.42 4.0	20.18 10Ne ネオン [He]2s ² 2p ⁶ 21.56												
3	22.99 11Na ナトリウム [Ne]3s ¹ 5.14 0.9	26.98 13Al アルミニウム [Ne]3s ² 3p ¹ 5.99 1.6	28.09 14Si ケイ素 [Ne]3s ² 3p ² 8.15 1.9	30.97 15P リン [Ne]3s ² 3p ³ 10.49 2.2	32.07 16S 硫黄 [Ne]3s ² 3p ⁴ 10.36 2.6	35.45 17Cl 塩素 [Ne]3s ² 3p ⁵ 12.97 3.2	39.95 18Ar アルゴン [Ne]3s ² 3p ⁶ 15.76												
4	39.10 19K カリウム [Ar]4s ¹ 4.34 0.8	44.96 21Sc スカンジウム [Ar]3d ¹ 4s ² 6.54 1.4	47.87 22Ti チタン [Ar]3d ² 4s ² 6.82 1.5	50.94 23V バナジウム [Ar]3d ³ 4s ² 6.74 1.6	52.00 24Cr クロム [Ar]3d ⁵ 4s ¹ 6.77 1.7	54.94 25Mn マンガン [Ar]3d ⁵ 4s ² 7.44 1.6	55.85 26Fe 鉄 [Ar]3d ⁶ 4s ² 7.87 1.8	58.93 27Co コバルト [Ar]3d ⁷ 4s ² 7.86 1.9	58.69 28Ni ニッケル [Ar]3d ⁸ 4s ² 7.64 1.9	63.55 29Cu 銅 [Ar]3d ¹⁰ 4s ¹ 7.73 2.0	65.39 30Zn 亜鉛 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 9.39 1.7	69.72 31Ga ガリウム [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹ 6.00 1.8	72.61 32Ge ゲルマニウム [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ² 7.90 2.0	74.92 33As ヒ素 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ³ 9.81 2.2	78.96 34Se セレン [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴ 9.75 2.6	79.90 35Br 臭素 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵ 11.81 3.0	83.80 36Kr クリプトン [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶ 14.00 3.0		
5	85.47 37Rb ルビジウム [Kr]5s ¹ 4.18 0.8	7.62 38Sr ストロンチウム [Kr]4d ¹ 5s ² 1.0 6.38	88.91 39Y イットリウム [Kr]4d ¹ 5s ² 1.2 6.84	91.22 40Zr ジルコニウム [Kr]4d ² 5s ² 1.3 6.88	92.91 41Nb ニオブ [Kr]4d ⁴ 5s ¹ 1.6 7.10	95.94 42Mo モリブデン [Kr]4d ⁵ 5s ¹ 2.2 7.28	(99) 43Tc テクネチウム [Kr]4d ⁵ 5s ² 1.9 7.37	101.1 44Ru ルテニウム [Kr]4d ⁷ 5s ¹ 2.2 7.46	102.9 45Rh ロジウム [Kr]4d ⁸ 5s ¹ 2.3 8.34	106.4 46Pd パラジウム [Kr]4d ¹⁰ 2.2 7.58	107.9 47Ag 銀 [Kr]4d ¹⁰ 5s ¹ 1.9 8.99	112.4 48Cd カドミウム [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 1.7 5.79	114.8 49In インジウム [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹ 1.8 7.34	118.7 50Sn スズ [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ² 2.0 8.64	121.8 51Sb アンチモン [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ³ 2.1 9.01	127.6 52Te テルル [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴ 2.1 10.45	126.9 53I ヨウ素 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵ 2.7 10.45	131.3 54Xe キセノン [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶ 2.7 12.13	
6	132.9 55Cs セシウム [Xe]6s ¹ 3.89 0.8	37.3 56Ba バリウム [Xe]6s ² 0.9 6.78	57~71 ランタノイド	178.5 72Hf ハフニウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ² 6s ² 1.3 7.40	180.9 73Ta タンタル [Xe]4f ¹⁴ 5d ³ 6s ² 1.5 7.60	183.8 74W タングステン [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ² 2.4 7.76	186.2 75Re レニウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ² 1.9 8.28	190.2 76Os オスmium [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ² 2.2 9.02	192.2 77Ir イリジウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ² 2.2 8.61	195.1 78Pt 白金 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹ 2.3 9.23	197.0 79Au 金 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹ 2.5 10.44	200.6 80Hg 水銀 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 2.0 6.11	204.4 81Tl タリウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹ 2.0 7.42	207.2 82Pb 鉛 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ² 2.3 7.29	209.0 83Bi ビスマス [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³ 2.0 8.42	(210) 84Po ポロニウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴ 2.0 9.5	(210) 85At アスタチン [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁵ 2.2 10.75	(222) 86Rn ラドン [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶ 10.75	
7	(223) 87Fr フランシウム [Rn]7s ¹ 4.0 0.9	226 88Ra ラジウム [Rn]7s ² 1.0	89~103 アクチノイド																

1.4 2族

族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
周期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1.008 1H 水素 1s ¹																	4.003 2He ヘリウム 1s ²
2	6.941 3Li リチウム [He]2s ¹	9.012 4Be ベリリウム [He]2s ²											10.81 5B ホウ素 [He]2s ² 2p ¹	12.01 6C 炭素 [He]2s ² 2p ²	14.01 7N 窒素 [He]2s ² 2p ³	16.00 8O 酸素 [He]2s ² 2p ⁴	19.00 9F フッ素 [He]2s ² 2p ⁵	20.18 10Ne ネオン [He]2s ² 2p ⁶
3	22.99 11Na ナトリウム [Ne]3s ¹	24.31 12Mg マグネシウム [Ne]3s ²											26.98 13Al アルミニウム [Ne]3s ² 3p ¹	28.09 14Si ケイ素 [Ne]3s ² 3p ²	30.97 15P リン [Ne]3s ² 3p ³	32.07 16S 硫黄 [Ne]3s ² 3p ⁴	35.45 17Cl 塩素 [Ne]3s ² 3p ⁵	39.95 18Ar アルゴン [Ne]3s ² 3p ⁶
4	39.10 19K カリウム [Ar]4s ¹	40.08 20Ca カルシウム [Ar]4s ²	44.96 21Sc スカンジウム [Ar]3d ¹ 4s ²	47.87 22Ti チタン [Ar]3d ² 4s ²	50.94 23V バナジウム [Ar]3d ³ 4s ²	52.00 24Cr クロム [Ar]3d ⁵ 4s ¹	54.94 25Mn マンガン [Ar]3d ⁵ 4s ²	55.85 26Fe 鉄 [Ar]3d ⁶ 4s ²	58.93 27Co コバルト [Ar]3d ⁷ 4s ²	58.69 28Ni ニッケル [Ar]3d ⁸ 4s ²	63.55 29Cu 銅 [Ar]3d ¹⁰ 4s ¹	65.39 30Zn 亜鉛 [Ar]3d ¹⁰ 4s ²	69.72 31Ga ガリウム [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹	72.61 32Ge ゲルマニウム [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ²	74.92 33As ヒ素 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ³	78.96 34Se セレン [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴	79.90 35Br 臭素 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵	83.80 36Kr クリプトン [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶
5	85.47 37Rb ルビジウム [Kr]5s ¹	87.62 38Sr ストロンチウム [Kr]5s ²	88.91 39Y イットリウム [Kr]4d ¹ 5s ²	91.22 40Zr ジルコニウム [Kr]4d ² 5s ²	92.91 41Nb ニオブ [Kr]4d ⁴ 5s ¹	95.94 42Mo モリブデン [Kr]4d ⁵ 5s ¹	(99) 43Tc テクネチウム [Kr]4d ⁵ 5s ²	101.1 44Ru ルテニウム [Kr]4d ⁷ 5s ¹	102.9 45Rh ロジウム [Kr]4d ⁸ 5s ¹	106.4 46Pd パラジウム [Kr]4d ¹⁰	107.9 47Ag 銀 [Kr]4d ¹⁰ 5s ¹	112.4 48Cd カドミウム [Kr]4d ¹⁰ 5s ²	114.8 49In インジウム [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹	118.7 50Sn スズ [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ²	121.8 51Sb アンチモン [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ³	127.6 52Te テルル [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴	126.9 53I ヨウ素 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵	131.3 54Xe キセノン [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶
6	132.9 55Cs セシウム [Xe]6s ¹	137.3 56Ba バリウム [Xe]6s ²	178.5 72Hf ハフニウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ² 6s ²	180.9 73Ta タンタル [Xe]4f ¹⁴ 5d ³ 6s ²	183.8 74W タングステン [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ²	186.2 75Re レニウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ²	190.2 76Os オスミウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ²	192.2 77Ir イリジウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ²	195.1 78Pt 白金 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹	197.0 79Au 金 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹	200.6 80Hg 水銀 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²	204.4 81Tl タリウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹	207.2 82Pb 鉛 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²	209.0 83Bi ビスマス [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³	(210) 84Po ポロニウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴	(210) 85At アスタチン [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁵	(222) 86Rn ラドン [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶	
7	(223) 87Fr フランシウム [Rn]7s ¹	(226) 88Ra ラジウム [Rn]7s ²	~71 f-ブロック	~71 f-ブロック	~71 f-ブロック	~71 f-ブロック	~71 f-ブロック	~71 f-ブロック	~71 f-ブロック	~71 f-ブロック	~71 f-ブロック	~71 f-ブロック	~71 f-ブロック	~71 f-ブロック	~71 f-ブロック	~71 f-ブロック	~71 f-ブロック	~71 f-ブロック
			~103 g-ブロック	~103 g-ブロック	~103 g-ブロック	~103 g-ブロック	~103 g-ブロック	~103 g-ブロック	~103 g-ブロック	~103 g-ブロック	~103 g-ブロック	~103 g-ブロック	~103 g-ブロック	~103 g-ブロック	~103 g-ブロック	~103 g-ブロック	~103 g-ブロック	~103 g-ブロック

・ ns^2 電子配置

・ BeとMg以外はアルカリ土類金属

原子番号: 6C
元素名: 炭素
電子配置: [He]2s²2p²
電気陰性度 (Pauling): 2.5
第一イオン化エネルギー (eV): 11.26

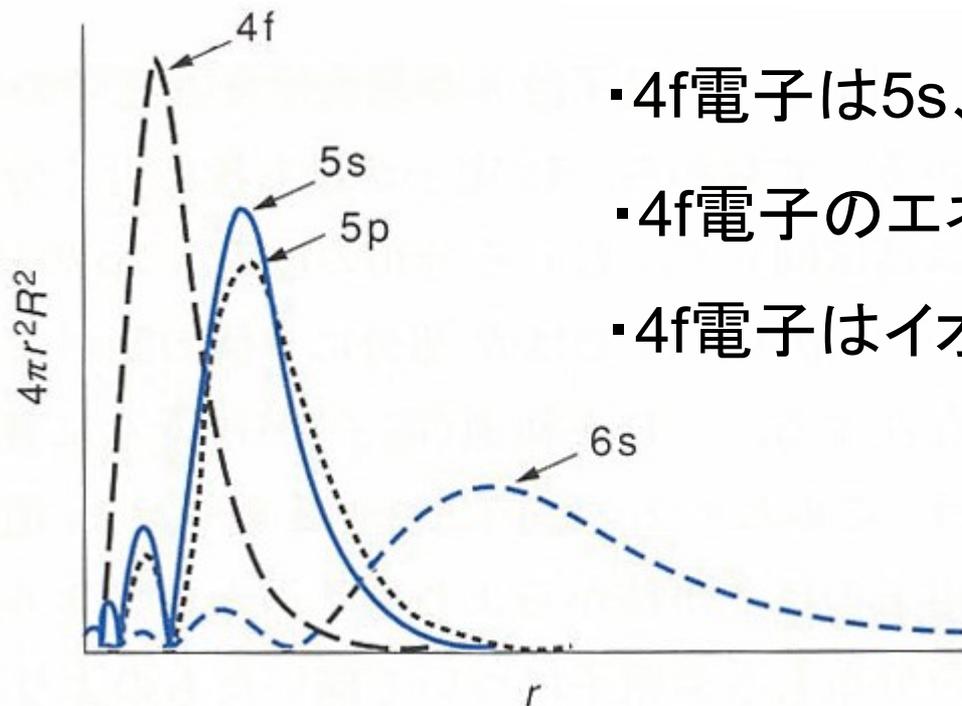
は遷移元素

1.4 3族～12族 (dブロック元素)

族		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	16	17	18											
1	2	<p>・ $ns^2 [f^{14}] (n-1) d^{1\sim 10}$ 電子配置</p> <p>・ 遷移金属元素</p>										16	17	18											
1	1.008 1H 水素 $1s^1$ 13.60 2.2											16	17	18											
2	6.941 3Li リチウム $[He]2s^1$ 5.39 1.0											9.012 4Be ベリリウム $[He]2s^2$ 9.32 1.6	16	17	18										
3	22.99 11Na ナトリウム $[Ne]3s^1$ 5.14 0.9											24.31 12Mg マグネシウム $[Ne]3s^2$ 7.65 1.3	16	17	18										
4	39.10 19K カリウム $[Ar]4s^1$ 4.34 0.8											40.08 20Ca カルシウム $[Ar]4s^2$ 6.11 1.0	44.96 21Sc スカンジウム $[Ar]3d^1 4s^2$ 6.54 1.4	47.87 22Ti チタン $[Ar]3d^2 4s^2$ 6.82 1.5	50.94 23V バナジウム $[Ar]3d^3 4s^2$ 6.74 1.6	52.00 24Cr クロム $[Ar]3d^5 4s^1$ 6.77 1.7	54.94 25Mn マンガン $[Ar]3d^5 4s^2$ 7.44 1.6	55.85 26Fe 鉄 $[Ar]3d^6 4s^2$ 7.87 1.8	58.93 27Co コバルト $[Ar]3d^7 4s^2$ 7.86 1.9	58.69 28Ni ニッケル $[Ar]3d^8 4s^2$ 7.64 1.9	63.55 29Cu 銅 $[Ar]3d^{10} 4s^1$ 7.73 2.0	65.39 30Zn 亜鉛 $[Ar]3d^{10} 4s^2$ 9.39 1.7	78.96 34Se セレン $[Ar]3d^{10} 4s^2 p^4$ 2.2 9.75 2.6	79.90 35Br 臭素 $[Ar]3d^{10} 4s^2 p^5$ 11.81 3.0	83.80 36Kr クリプトン $[Ar]3d^{10} 4s^2 p^6$ 14.00 3.0
5	85.47 37Rb ルビジウム $[Kr]5s^1$ 4.18 0.8											87.62 38Sr ストロンチウム $[Kr]5s^2$ 5.70 1.0	88.91 39Y イットリウム $[Kr]4d^1 5s^2$ 6.38 1.2	91.22 40Zr ジルコニウム $[Kr]4d^2 5s^2$ 6.84 1.3	92.91 41Nb ニオブ $[Kr]4d^4 5s^1$ 6.88 1.6	95.94 42Mo モリブデン $[Kr]4d^5 5s^1$ 7.10 2.2	(99) 43Tc テクネチウム $[Kr]4d^5 5s^2$ 7.28 1.9	101.1 44Ru ルテニウム $[Kr]4d^7 5s^1$ 7.37 2.2	102.9 45Rh ロジウム $[Kr]4d^8 5s^1$ 7.46 2.3	106.4 46Pd パラジウム $[Kr]4d^{10}$ 8.34 2.2	107.9 47Ag 銀 $[Kr]4d^{10} 5s^1$ 7.58 1.9	112.4 48Cd カドミウム $[Kr]4d^{10} 5s^2$ 8.99 1.7	127.6 52Te テルル $[Kr]4d^{10} 5s^2 p^4$ 2.1 9.01 2.1	126.9 53I ヨウ素 $[Kr]4d^{10} 5s^2 p^5$ 10.45 2.7	131.3 54Xe キセノン $[Kr]4d^{10} 5s^2 p^6$ 12.13 2.7
6	132.9 55Cs セシウム $[Xe]6s^1$ 3.89 0.8											137.3 56Ba バリウム $[Xe]6s^2$ 5.21 0.9	178.5 72Hf ハフニウム $[Xe]4f^{14} 5d^3 6s^2$ 6.78 1.3	180.9 73Ta タンタル $[Xe]4f^{14} 5d^3 6s^2$ 7.40 1.5	183.8 74W タングステン $[Xe]4f^{14} 5d^4 6s^2$ 7.60 2.4	186.2 75Re レニウム $[Xe]4f^{14} 5d^5 6s^2$ 7.76 1.9	190.2 76Os オスmium $[Xe]4f^{14} 5d^6 6s^2$ 8.28 2.2	192.2 77Ir イリジウム $[Xe]4f^{14} 5d^7 6s^2$ 9.02 2.2	195.1 78Pt 白金 $[Xe]4f^{14} 5d^9 6s^1$ 8.61 2.3	197.0 79Au 金 $[Xe]4f^{14} 5d^{10} 6s^1$ 9.23 2.5	200.6 80Hg 水銀 $[Xe]4f^{14} 5d^{10} 6s^2$ 10.44 2.0	(210) 84Po ポロニウム $[Xe]4f^{14} 5d^{10} 6s^2 p^4$ 2.0 8.42 2.0	(210) 85At アスタチン $[Xe]4f^{14} 5d^{10} 6s^2 p^5$ 9.5 2.2	(222) 86Rn ラドン $[Xe]4f^{14} 5d^{10} 6s^2 p^6$ 10.75	
7	(223) 87Fr フランシウム $[Rn]7s^1$ 4.0 0.9	(226) 88Ra ラジウム $[Rn]7s^2$ 5.28 1.0																							

ランタノイド

$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s \leq 3d < 4p < 5s \leq 4d < 5p < 6s \leq 4f \leq 5d < 6p < 7s$



- 4f電子は5s、5p電子を遮蔽できない
- 4f電子のエネルギーは低い
- 4f電子はイオン化の際も放出されない

1.4 pブロック元素

$ns^2 [d^{10}, f^{14}] np^{1\sim 6}$ 電子配置

族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.008 1H 水素 $1s^1$ 13.60 2.2									
2	6.941 3Li リチウム $[He]2s^1$ 5.39 1.0	9.012 4Be ベリリウム $[He]2s^2$ 9.32 1.6								
3	22.99 11Na ナトリウム $[Ne]3s^1$ 5.14 0.9	24.31 12Mg マグネシウム $[Ne]3s^2$ 7.65 1.3								
4	39.10 19K カリウム $[Ar]4s^1$ 4.34 0.8	40.08 20Ca カルシウム $[Ar]4s^2$ 6.11 1.0	44.96 21Sc スカンジウム $[Ar]3d^1 4s^2$ 6.54 1.4	47.87 22Ti チタン $[Ar]3d^2 4s^2$ 6.82 1.5	50.94 23V バナジウム $[Ar]3d^3 4s^2$ 6.74 1.6	52.00 24Cr クロム $[Ar]3d^5 4s^1$ 6.77 1.7	54.94 25Mn マンガン $[Ar]3d^5 4s^2$ 7.44 1.6	55.85 26Fe 鉄 $[Ar]3d^6 4s^2$ 7.87 1.8	58.93 27Co コバルト $[Ar]3d^7 4s^2$ 7.86 1.9	58.69 28Ni ニッケル $[Ar]3d^8 4s^2$ 7.64 1.9
5	85.47 37Rb ルビジウム $[Kr]5s^1$ 4.18 0.8	87.62 38Sr ストロンチウム $[Kr]5s^2$ 5.70 1.0	88.91 39Y イットリウム $[Kr]4d^1 5s^2$ 6.38 1.2	91.22 40Zr ジルコニウム $[Kr]4d^2 5s^2$ 6.84 1.3	92.91 41Nb ニオブ $[Kr]4d^4 5s^1$ 6.88 1.6	95.94 42Mo モリブデン $[Kr]4d^5 5s^1$ 7.10 2.2	(99) 43Tc テクネチウム $[Kr]4d^5 5s^2$ 7.28 1.9	101.1 44Ru ルテニウム $[Kr]4d^7 5s^1$ 7.37 2.2	102.9 45Rh ロジウム $[Kr]4d^8 5s^1$ 7.46 2.3	106.4 46Pd パラジウム $[Kr]4d^{10}$ 8.34 2.2
6	132.9 55Cs セシウム $[Xe]6s^1$ 3.89 0.8	137.3 56Ba バリウム $[Xe]6s^2$ 5.21 0.9	89~71 ランタノイド	178.5 72Hf ハフニウム $[Xe]4f^{14} 5d^2 6s^2$ 6.78 1.3	180.9 73Ta タンタル $[Xe]4f^{14} 5d^3 6s^2$ 7.40 1.5	183.8 74W タングステン $[Xe]4f^{14} 5d^4 6s^2$ 7.60 2.4	186.2 75Re レニウム $[Xe]4f^{14} 5d^5 6s^2$ 7.76 1.9	190.2 76Os オスマウム $[Xe]4f^{14} 5d^6 6s^2$ 8.28 2.2	192.2 77Ir イリジウム $[Xe]4f^{14} 5d^7 6s^2$ 9.02 2.2	195.1 78Pt 白金 $[Xe]4f^{14} 5d^9 6s^1$ 8.61 2.3
7	(223) 87Fr フランシウム $[Rn]7s^1$ 4.0 0.9	(226) 88Ra ラジウム $[Rn]7s^2$ 5.28 1.0	89~103 アクチノイド							

原子番号 — 6C — 原子量^{a)}
 元素記号 — C —
 元素名 — 炭素 —
 電子配置 — $[He]2s^2 p^2$ —
 電気陰性度 (Pauling) — 2.5 —
 第一イオン化エネルギー (eV) — 11.26 —
 □ は典型元素
 □ は遷移元素

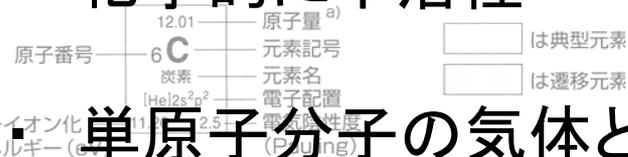
13	14	15	16	17	18
					4.003 2He ヘリウム $1s^2$ 24.59
10.81 5B ホウ素 $[He]2s^2 p^1$ 8.30 2.0	12.01 6C 炭素 $[He]2s^2 p^2$ 11.26 2.6	14.01 7N 窒素 $[He]2s^2 p^3$ 14.53 3.0	16.00 8O 酸素 $[He]2s^2 p^4$ 13.62 3.4	19.00 9F フッ素 $[He]2s^2 p^5$ 17.42 4.0	20.18 10Ne ネオン $[He]2s^2 p^6$ 21.56
26.98 13Al アルミニウム $[Ne]3s^2 p^1$ 5.99 1.6	28.09 14Si ケイ素 $[Ne]3s^2 p^2$ 8.15 1.9	30.97 15P リン $[Ne]3s^2 p^3$ 10.49 2.2	32.07 16S 硫黄 $[Ne]3s^2 p^4$ 10.36 2.6	35.45 17Cl 塩素 $[Ne]3s^2 p^5$ 12.97 3.2	39.95 18Ar アルゴン $[Ne]3s^2 p^6$ 15.76
69.72 31Ga ガリウム $[Ar]3d^{10} 4s^2 p^1$ 6.00 1.8	72.61 32Ge ゲルマニウム $[Ar]3d^{10} 4s^2 p^2$ 7.90 2.0	74.92 33As ヒ素 $[Ar]3d^{10} 4s^2 p^3$ 9.81 2.2	78.96 34Se セレン $[Ar]3d^{10} 4s^2 p^4$ 9.75 2.6	79.90 35Br 臭素 $[Ar]3d^{10} 4s^2 p^5$ 11.81 3.0	83.80 36Kr クリプトン $[Ar]3d^{10} 4s^2 p^6$ 14.00 3.0
114.8 49In インジウム $[Kr]4d^{10} 5s^2 p^1$ 5.79 1.8	118.7 50Sn スズ $[Kr]4d^{10} 5s^2 p^2$ 7.34 2.0	121.8 51Sb アンチモン $[Kr]4d^{10} 5s^2 p^3$ 8.64 2.1	127.6 52Te テルル $[Kr]4d^{10} 5s^2 p^4$ 9.01 2.1	126.9 53I ヨウ素 $[Kr]4d^{10} 5s^2 p^5$ 10.45 2.7	131.3 54Xe キセノン $[Kr]4d^{10} 5s^2 p^6$ 12.13 2.7
204.4 81Tl タリウム $[Xe]4f^{14} 5d^{10} 6s^2 p^1$ 6.11 2.0	207.2 82Pb 鉛 $[Xe]4f^{14} 5d^{10} 6s^2 p^2$ 7.42 2.3	209.0 83Bi ビスマス $[Xe]4f^{14} 5d^{10} 6s^2 p^3$ 7.29 2.0	(210) 84Po ポロニウム $[Xe]4f^{14} 5d^{10} 6s^2 p^4$ 8.42 2.0	(210) 85At アスタチン $[Xe]4f^{14} 5d^{10} 6s^2 p^5$ 9.5 2.2	(222) 86Rn ラドン $[Xe]4f^{14} 5d^{10} 6s^2 p^6$ 10.75

1.4 18族 (希ガス)

閉殻 電子配置

化学的に不活性

単原子分子の気体として存在



族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1.008 1H 水素 1s ¹ 13.60 2.2																	4.003 2He ヘリウム 1s ² 24.59	
2	6.941 3Li リチウム [He]2s ¹ 5.39 1.0	9.012 4Be ベリリウム [He]2s ² 9.32 1.6			12.01 6C 炭素 [He]2s ² 2p ² 11.01 2.55									10.81 5B ホウ素 [He]2s ² p ¹ 8.30 2.0	12.01 6C 炭素 [He]2s ² p ² 11.26 2.6	14.01 7N 窒素 [He]2s ² p ³ 14.53 3.0	16.00 8O 酸素 [He]2s ² p ⁴ 13.62 3.4	19.00 9F フッ素 [He]2s ² p ⁵ 17.42	20.18 10Ne ネオン [He]2s ² p ⁶ 21.56
3	22.99 11Na ナトリウム [Ne]3s ¹ 5.14 0.9	24.31 12Mg マグネシウム [Ne]3s ² 7.65 1.3												26.98 13Al アルミニウム [Ne]3s ² p ¹ 5.99 1.6	28.09 14Si ケイ素 [Ne]3s ² p ² 8.15 1.9	30.97 15P リン [Ne]3s ² p ³ 10.49 2.2	32.07 16S 硫黄 [Ne]3s ² p ⁴ 10.36 2.6	35.45 17Cl 塩素 [Ne]3s ² p ⁵ 12.97	39.95 18Ar アルゴン [Ne]3s ² p ⁶ 15.76
4	39.10 19K カリウム [Ar]4s ¹ 4.34 0.8	40.08 20Ca カルシウム [Ar]4s ² 6.11 1.0	44.96 21Sc スカンジウム [Ar]3d ¹ 4s ² 6.54 1.4	47.87 22Ti チタン [Ar]3d ² 4s ² 6.82 1.5	50.94 23V バナジウム [Ar]3d ³ 4s ² 6.74 1.6	52.00 24Cr クロム [Ar]3d ⁵ 4s ¹ 6.77 1.7	54.94 25Mn マンガン [Ar]3d ⁵ 4s ² 7.44 1.6	55.85 26Fe 鉄 [Ar]3d ⁶ 4s ² 7.87 1.8	58.93 27Co コバルト [Ar]3d ⁷ 4s ² 7.86 1.9	58.69 28Ni ニッケル [Ar]3d ⁸ 4s ² 7.64 1.9	63.55 29Cu 銅 [Ar]3d ¹⁰ 4s ¹ 7.73 2.0	65.39 30Zn 亜鉛 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 9.39 1.7	69.72 31Ga ガリウム [Ar]3d ¹⁰ 4s ² p ¹ 6.00 1.8	72.61 32Ge ゲルマニウム [Ar]3d ¹⁰ 4s ² p ² 7.90 2.0	74.92 33As ヒ素 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² p ³ 9.81 2.2	78.96 34Se セレン [Ar]3d ¹⁰ 4s ² p ⁴ 9.75 2.6	79.90 35Br 臭素 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² p ⁵ 11.81	83.80 36Kr クリプトン [Ar]3d ¹⁰ 4s ² p ⁶ 14.00 3.0	
5	85.47 37Rb ルビジウム [Kr]5s ¹ 4.18 0.8	87.62 38Sr ストロンチウム [Kr]5s ² 5.70 1.0	88.91 39Y イットリウム [Kr]4d ¹ 5s ² 6.38 1.2	91.22 40Zr ジルコニウム [Kr]4d ² 5s ² 6.84 1.3	92.91 41Nb ニオブ [Kr]4d ⁴ 5s ¹ 6.88 1.6	95.94 42Mo モリブデン [Kr]4d ⁵ 5s ¹ 7.10 2.2	(99) 43Tc テクネチウム [Kr]4d ⁵ 5s ² 7.28 1.9	101.1 44Ru ルテニウム [Kr]4d ⁷ 5s ¹ 7.37 2.2	102.9 45Rh ロジウム [Kr]4d ⁸ 5s ¹ 7.46 2.3	106.4 46Pd パラジウム [Kr]4d ¹⁰ 8.34 2.2	107.9 47Ag 銀 [Kr]4d ¹⁰ 5s ¹ 7.58 1.9	112.4 48Cd カドミウム [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 8.99 1.7	114.8 49In インジウム [Kr]4d ¹⁰ 5s ² p ¹ 5.79 1.8	118.7 50Sn スズ [Kr]4d ¹⁰ 5s ² p ² 7.34 2.0	121.8 51Sb アンチモン [Kr]4d ¹⁰ 5s ² p ³ 8.64 2.1	127.6 52Te テルル [Kr]4d ¹⁰ 5s ² p ⁴ 9.01 2.1	126.9 53I ヨウ素 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² p ⁵ 10.45	131.3 54Xe キセノン [Kr]4d ¹⁰ 5s ² p ⁶ 12.13 2.7	
6	132.9 55Cs セシウム [Xe]6s ¹ 3.89 0.8	137.3 56Ba バリウム [Xe]6s ² 5.21 0.9	57~71 ランタノイド	178.5 72Hf ハフニウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ² 6s ² 6.78 1.3	180.9 73Ta タンタル [Xe]4f ¹⁴ 5d ³ 6s ² 7.40 1.5	183.8 74W タングステン [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ² 7.60 2.4	186.2 75Re レニウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ² 7.76 1.9	190.2 76Os オスミウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ² 8.28 2.2	192.2 77Ir イリジウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ² 9.02 2.2	195.1 78Pt 白金 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹ 8.61 2.3	197.0 79Au 金 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹ 9.23 2.5	200.6 80Hg 水銀 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 10.44 2.0	204.4 81Tl タリウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² p ¹ 6.11 2.0	207.2 82Pb 鉛 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² p ² 7.42 2.3	209.0 83Bi ビスマス [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² p ³ 7.29 2.0	(210) 84Po ポロニウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² p ⁴ 8.42 2.0	(210) 85At アスタタ [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² p ⁵ 9.5	131.3 54Xe キセノン [Kr]4d ¹⁰ 5s ² p ⁶ 12.13 2.7	
7	(223) 87Fr フランシウム [Rn]7s ¹ 4.0 0.9	(226) 88Ra ラジウム [Rn]7s ² 5.28 1.0	89~103 アクチノイド																(222) 86Rn ラドン [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² p ⁶ 10.75

1.4 17族 (ハロゲン)

・ $ns^2 [d^{10} f^{14}] np^5$ 電子配置

・ 電子を1個受け取り-1価イオンになる

族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1.008 1H 水素 1s ¹ 13.60 2.2																	4.003 2He ヘリウム 1s ² 4.59	
2	6.941 3Li リチウム [He]2s ¹ 5.39 1.0	9.012 4Be ベリリウム [He]2s ² 9.32 1.6				12.01 6C 炭素 [He]2s ² 2p ² 11.26 2.5								10.81 5B ホウ素 [He]2s ² 2p ¹ 8.30 2.0	12.01 6C 炭素 [He]2s ² 2p ² 11.26 2.6	14.01 7N 窒素 [He]2s ² 2p ³ 14.53 3.0	16.00 8O 酸素 [He]2s ² 2p ⁴ 13.62 3.0	19.00 9F フッ素 [He]2s ² 2p ⁵ 17.42 4.0	20.18 10Ne ネオン [He]2s ² 2p ⁶ 1.56
3	22.99 11Na ナトリウム [Ne]3s ¹ 5.14 0.9	24.31 12Mg マグネシウム [Ne]3s ² 7.65 1.3												26.98 13Al アルミニウム [Ne]3s ² 2p ¹ 5.99 1.6	28.09 14Si ケイ素 [Ne]3s ² 2p ² 8.15 1.9	30.97 15P リン [Ne]3s ² 2p ³ 10.49 2.2	32.07 16S 硫黄 [Ne]3s ² 2p ⁴ 10.36 2.2	35.45 17Cl 塩素 [Ne]3s ² 2p ⁵ 12.97 3.2	39.95 18Ar アルゴン [Ne]3s ² 2p ⁶ 5.76
4	39.10 19K カリウム [Ar]4s ¹ 4.34 0.8	40.08 20Ca カルシウム [Ar]4s ² 6.11 1.0	44.96 21Sc スカンジウム [Ar]3d ¹ 4s ² 6.54 1.4	47.87 22Ti チタン [Ar]3d ² 4s ² 6.82 1.5	50.94 23V バナジウム [Ar]3d ³ 4s ² 6.74 1.6	52.00 24Cr クロム [Ar]3d ⁵ 4s ¹ 6.77 1.7	54.94 25Mn マンガン [Ar]3d ⁵ 4s ² 7.44 1.6	55.85 26Fe 鉄 [Ar]3d ⁶ 4s ² 7.87 1.8	58.93 27Co コバルト [Ar]3d ⁷ 4s ² 7.86 1.9	58.69 28Ni ニッケル [Ar]3d ⁸ 4s ² 7.64 1.9	63.55 29Cu 銅 [Ar]3d ¹⁰ 4s ¹ 7.73 2.0	65.39 30Zn 亜鉛 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 9.39 1.7	69.72 31Ga ガリウム [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹ 6.00 1.8	72.61 32Ge ゲルマニウム [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ² 7.90 2.0	74.92 33As ヒ素 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ³ 9.81 2.2	78.96 34Se セレン [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴ 9.75 2.2	79.90 35Br 臭素 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵ 11.81 3.0	83.80 36Kr クリプトン [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶ 4.00 3.0	
5	85.47 37Rb ルビジウム [Kr]5s ¹ 4.18 0.8	87.62 38Sr ストロンチウム [Kr]5s ² 5.70 1.0	88.91 39Y イットリウム [Kr]4d ¹ 5s ² 6.38 1.2	91.22 40Zr ジルコニウム [Kr]4d ² 5s ² 6.84 1.3	92.91 41Nb ニオブ [Kr]4d ⁴ 5s ¹ 6.88 1.6	95.94 42Mo モリブデン [Kr]4d ⁵ 5s ¹ 7.10 2.2	(99) 43Tc テクネチウム [Kr]4d ⁵ 5s ² 7.28 1.9	101.1 44Ru ルテニウム [Kr]4d ⁷ 5s ¹ 7.37 2.2	102.9 45Rh ロジウム [Kr]4d ⁸ 5s ¹ 7.46 2.3	106.4 46Pd パラジウム [Kr]4d ¹⁰ 8.34 2.2	107.9 47Ag 銀 [Kr]4d ¹⁰ 5s ¹ 7.58 1.9	112.4 48Cd カドミウム [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 8.99 1.7	114.8 49In インジウム [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹ 5.79 1.8	118.7 50Sn スズ [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ² 7.34 2.0	121.8 51Sb アンチモン [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ³ 8.64 2.1	127.6 52Te テルル [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴ 9.01 2.2	126.9 53I ヨウ素 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵ 11.81 3.0	131.3 54Xe キセノン [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶ 2.13 2.7	
6	132.9 55Cs セシウム [Xe]6s ¹ 3.89 0.8	137.3 56Ba バリウム [Xe]6s ² 5.21 0.9	57~71 ランタノイド	178.5 72Hf ハフニウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ² 6s ² 6.78 1.3	180.9 73Ta タンタル [Xe]4f ¹⁴ 5d ³ 6s ² 7.40 1.5	183.8 74W タングステン [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ² 7.60 2.4	186.2 75Re レニウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ² 7.76 1.9	190.2 76Os オスmium [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ² 8.28 2.2	192.2 77Ir イリジウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ² 9.02 2.2	195.1 78Pt 白金 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹ 8.61 2.3	197.0 79Au 金 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹ 9.23 2.5	200.6 80Hg 水銀 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 10.44 2.0	204.4 81Tl タリウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹ 6.11 2.0	207.2 82Pb 鉛 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ² 7.42 2.3	209.0 83Bi ビスマス [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³ 7.29 2.0	(210) 84Po ポロニウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴ 8.42 2.2	126.9 53I ヨウ素 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵ 10.45 2.7	(222) 86Rn ラドン [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶ 0.75	
7	(223) 87Fr フランシウム [Rn]7s ¹ 4.0 0.9	(226) 88Ra ラジウム [Rn]7s ² 5.28 1.0	89~103 アクチノイド															(210) 85At アスタチン [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁵ 9.5 2.2	

原子番号 — 6C — 原子量^{a)}
 元素記号 — C — 元素名
 電子配置 — [He]2s²2p² — 電気陰性度 (Pauling)
 第一イオン化エネルギー (eV) — 11.26 2.5

□ は典型元素
 □ は遷移元素

1.4 16族

・ $ns^2 [d^{10} f^{14}] np^4$ 電子配置

・ カルコゲン(O以外)

・ 共有結合性化合物になることが多い
(ZnS、ZnSe、CdTeなど)

族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1.008 1H 水素 1s ¹ 13.60 2.2																	4.003 2He ヘリウム 1s ² 24.59	
2	6.941 3Li リチウム [He]2s ¹ 5.39 1.0	9.012 4Be ベリリウム [He]2s ² 9.32 1.6			12.01 6C 炭素 [He]2s ² 2p ² 13.60 1.5									10.81 5B ホウ素 [He]2s ² 2p ¹ 26.99 1.0	12.01 6C 炭素 [He]2s ² 2p ² 12.01 1.26 2.6	14.01 7N 窒素 [He]2s ² 2p ³ 14.01 1.26 2.6	16.00 8O 酸素 [He]2s ² 2p ⁴ 13.62 3.4	19.00 9F フッ素 [He]2s ² 2p ⁵ 18.99 4.2 4.0	20.18 10Ne ネオン [He]2s ² 2p ⁶ 21.56
3	22.99 11Na ナトリウム [Ne]3s ¹ 5.14 0.9	24.31 12Mg マグネシウム [Ne]3s ² 7.65 1.3												26.98 13Al アルミニウム [Ne]3s ² 3p ¹ 5.99 1.6	28.09 14Si ケイ素 [Ne]3s ² 3p ² 8.15 1.9	30.97 15P リン [Ne]3s ² 3p ³ 10.49 2.0	32.07 16S 硫黄 [Ne]3s ² 3p ⁴ 13.62 3.4	35.45 17Cl 塩素 [Ne]3s ² 3p ⁵ 2.97 3.2	39.95 18Ar アルゴン [Ne]3s ² 3p ⁶ 15.76
4	39.10 19K カリウム [Ar]4s ¹ 4.34 0.8	40.08 20Ca カルシウム [Ar]4s ² 6.11 1.0	44.96 21Sc スカンジウム [Ar]3d ¹ 4s ² 6.54 1.4	47.87 22Ti チタン [Ar]3d ² 4s ² 6.82 1.5	50.94 23V バナジウム [Ar]3d ³ 4s ² 6.74 1.6	52.00 24Cr クロム [Ar]3d ⁵ 4s ¹ 6.77 1.7	54.94 25Mn マンガン [Ar]3d ⁵ 4s ² 7.44 1.6	55.85 26Fe 鉄 [Ar]3d ⁶ 4s ² 7.87 1.8	58.93 27Co コバルト [Ar]3d ⁷ 4s ² 7.86 1.9	58.69 28Ni ニッケル [Ar]3d ⁸ 4s ² 7.64 1.9	63.55 29Cu 銅 [Ar]3d ¹⁰ 4s ¹ 7.73 2.0	65.39 30Zn 亜鉛 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 9.39 1.7	69.72 31Ga ガリウム [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹ 6.00 1.8	72.61 32Ge ゲルマニウム [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ² 7.90 2.0	74.92 33As ヒ素 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ³ 9.81 2.0	78.96 34Se セレン [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴ 9.75 2.6	79.90 35Br 臭素 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵ 1.81 3.0	83.80 36Kr クリプトン [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶ 14.00 3.0	
5	85.47 37Rb ルビジウム [Kr]5s ¹ 4.18 0.8	87.62 38Sr ストロンチウム [Kr]5s ² 5.70 1.0	88.91 39Y イットリウム [Kr]4d ¹ 5s ² 6.38 1.2	91.22 40Zr ジルコニウム [Kr]4d ² 5s ² 6.84 1.3	92.91 41Nb ニオブ [Kr]4d ⁴ 5s ¹ 6.88 1.6	95.94 42Mo モリブデン [Kr]4d ⁵ 5s ¹ 7.10 2.2	(99) 43Tc テクネチウム [Kr]4d ⁵ 5s ² 7.28 1.9	101.1 44Ru ルテニウム [Kr]4d ⁷ 5s ¹ 7.37 2.2	102.9 45Rh ロジウム [Kr]4d ⁸ 5s ¹ 7.46 2.3	106.4 46Pd パラジウム [Kr]4d ¹⁰ 8.34 2.2	107.9 47Ag 銀 [Kr]4d ¹⁰ 5s ¹ 7.58 1.9	112.4 48Cd カドミウム [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 8.99 1.7	114.8 49In インジウム [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹ 5.79 1.8	118.7 50Sn スズ [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ² 7.34 2.0	121.8 51Sb アンチモン [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ³ 8.64 2.2	127.6 52Te テルル [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴ 9.01 2.1	126.9 53I ヨウ素 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵ 0.45 2.7	131.3 54Xe キセノン [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶ 12.13 2.7	
6	132.9 55Cs セシウム [Xe]6s ¹ 3.89 0.8	137.3 56Ba バリウム [Xe]6s ² 5.21 0.9	57~71 ランタノイド	178.5 72Hf ハフニウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ² 6s ² 6.78 1.3	180.9 73Ta タンタル [Xe]4f ¹⁴ 5d ³ 6s ² 7.40 1.5	183.8 74W タングステン [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ² 7.60 2.4	186.2 75Re レニウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ² 7.76 1.9	190.2 76Os オスmium [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ² 8.28 2.2	192.2 77Ir イリジウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ² 9.02 2.2	195.1 78Pt 白金 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹ 8.61 2.3	197.0 79Au 金 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹ 9.23 2.5	200.6 80Hg 水銀 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 10.44 2.0	204.4 81Tl タリウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹ 6.11 2.0	207.2 82Pb 鉛 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ² 7.42 2.3	209.0 83Bi ビスマス [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³ 7.29 2.0	210 84Po ポロニウム [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴ 8.42 2.0	(210) 85At アスタチン [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁵ 5 2.2	(222) 86Rn ラドン [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶ 10.75	
7	(223) 87Fr フランシウム [Rn]7s ¹ 4.0 0.9	(226) 88Ra ラジウム [Rn]7s ² 5.28 1.0	89~103 アクチノイド																

演習問題

10族 Ni、Pd、Ptの基底状態での電子配置を調べよ。



Pdは独特の電子配置を持っているにも関わらず、化学的にはNiおよびPtと類似

宿題(1) 提出: 次回講義日(厳守)

1. 次の軌道のそれぞれに対する量子数を挙げよ。

1s、2s、2p、4d、4f

2. 次の軌道のそれぞれの図を描け

1s、 $2p_x$ 、 $2p_y$ 、 $3d_z^2$ 、 $3d_{xy}$ 、 $3d_{yz}$ 、 $3d_{zx}$ 、 $3d_{x^2-y^2}$

3. N原子よりO原子のほうが第一イオン化エネルギーが低い。何故か？

4. 貫入についてどのような現象か説明せよ

5. ボーア半径は何を意味するか？