

化学の世界 第2回 2023.6.21

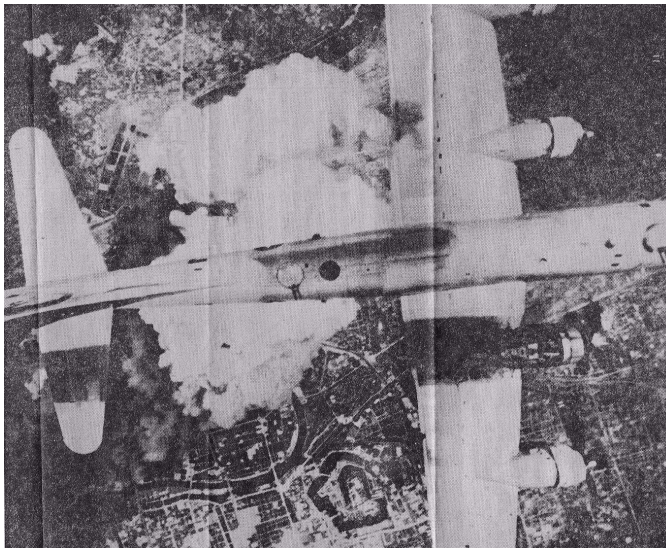
元素と周期表

Niels Bohr (1885-1962)

梶本 興 亜

1945年6月

自己紹介
梶本興亜



アメリカ スミソニアン博物館所蔵

京都大学

↓ 高分子化学

大阪大学

↓ 高速反応
衝撃波

東京大学

↓ レーザー化学
クラスター

京都大学

↓ 分子線分光
超臨界流体

立命館大学

鈴鹿医療科学
学大学

さて、どんな元素を知っているだろう？

人の体を作る元素

表面地殻16km内での存在比(重量%)

元素	重量%	Clarke数
O	61.4	49.5
C*	22.8	0.08
H	10.0	0.87
N	2.6	0.03
Ca	1.43	3.39
P	1.11	0.08
K*	0.20	2.40
S	0.20	0.06
Na	0.14	2.63
Cl	0.14	0.19
Mg	0.027	1.93
Fe	0.006	4.70
Zn	0.004	0.004
Si	0.001	25.8

1kg : 骨
水酸7が⁺イ
Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂

800g : リン脂質
DNA ATP 骨 - P

140g : 細胞内 - K*

140g : 蛋白質 S

100g : 細胞外 - Na

95g Cl

25g : 細胞内 - Mg

3g : ヘモグロビン Fe

2g : 酵素 Zn

ミネラル

H₂O : 人の体の65%

糖質 (炭水化物、多糖類)

- ・単位は単糖類
- ・エネルギー、構造形成、代謝など

脂質 (リン脂質)

- ・グリセロール、脂肪酸、リン酸
- ・構造形成、エネルギーなど

蛋白質 (Protein)

- ・単位はL-αアミノ酸
- ・構造形成、触媒、輸送、制御、防御

核酸 (DNAなど)

- ・単位はモノヌクレオチド
- ・遺伝情報の伝達

* 放射性同位体を含む : 体重60kgの人で K⁴⁰ 4000Bq C¹⁴ 2500Bq を放出

硬貨

Al Cu Zn Sn Ni (Pb)



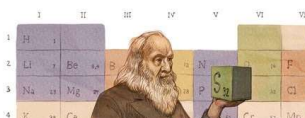
Al 100 純アルミ	Cu + Zn 60-70 40-30 黄銅	Cu+Sn+Zn 95 1-2 4-3 青銅	Cu + Ni 75 25 白銅	Cu + Ni 75 25 白銅	Cu+Zn+Ni 72 20 8 ニッケル黄銅
-------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------	------------------------	-------------------------------



Cu+Sn+Pb
93 5 2
青銅

青銅は本来は青くないが、空气中に長年おくと次第に硫酸塩・炭酸塩を生じ青緑色となるので、青銅と呼ばれる。

周期表



元素の周期表 (長周期型) — マンデルレーフ：1870年に周期表を提案

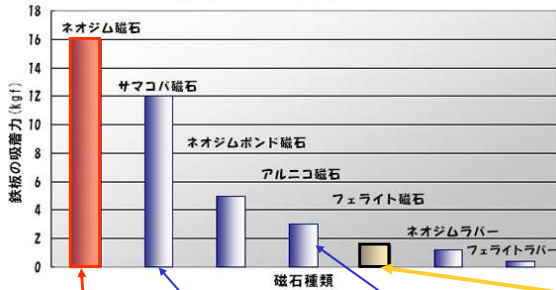
周期	1 (1A)	2 (2A)	3 (3A)	4 (4A)	5 (5A)	6 (6A)	7 (7A)	8	9	10	11	12 (2B)	13 (3B)	14 (4B)	15 (5B)	16 (6B)	17 (7B)	18 (0)
1	1 H 水素 1.008																	2 He ヘリウム 4.003
2	3 Li リチウム 6.941	4 Be ベリリウム 9.012											5 B ホウ素 10.81	6 C 炭素 12.01	7 N 窒素 14.01	8 O 酸素 16.00	9 F フッ素 18.99	10 Ne ネオン 20.18
3	11 Na ナトリウム 22.99	12 Mg マグネシウム 24.31											13 Al アルミニウム 26.98	14 Si ケイ素 28.09	15 P リン 30.97	16 S 硫黄 32.07	17 Cl 塩素 35.45	18 Ar アルゴン 39.95
4	19 K カリウム 39.10	20 Ca カルシウム 40.08	21 Sc スカンジウム 44.96	22 Ti チタン 47.87	23 V バナジウム 50.94	24 Cr クロム 52.00	25 Mn マンガン 54.94	26 Fe 鉄 55.85	27 Co コバルト 58.93	28 Ni ニッケル 58.69	29 Cu 銅 63.55	30 Zn 亜鉛 65.39	31 Ga ガリウム 69.72	32 Ge ゲルマニウム 72.64	33 As ヒ素 74.92	34 Se セレン 78.96	35 Br 臭素 79.90	36 Kr クリプトン 83.80
5	37 Rb ルビジウム 85.47	38 Sr ストロンチウム 87.62	39 Y イットリウム 88.91	40 Zr ジルコニウム 91.22	41 Nb ニオブ 92.91	42 Mo モリブデン 95.94	43 Tc テクネチウム 98.906	44 Ru ルテチウム 101.1	45 Rh ロジウム 102.9	46 Pd パラジウム 106.4	47 Ag 銀 107.9	48 Cd カドミウム 112.4	49 In インジウム 114.8	50 Sn スズ 118.7	51 Sb アンチモン 121.8	52 Te テルル 127.6	53 I ヨウ素 126.9	54 Xe キセノン 131.3
6	55 Cs セシウム 132.9	56 Ba バリウム 137.3	57-71 ランタノイド La-Lu	72 Hf ハフニウム 178.5	73 Ta タンタル 180.9	74 W タングステン 183.8	75 Re レニウム 186.2	76 Os オースミウム 190.2	77 Ir イリジウム 192.2	78 Pt 白金 195.1	79 Au 金 197.0	80 Hg 水銀 200.6	81 Tl タリウム 204.4	82 Pb 鉛 207.2	83 Bi ヒ素 208.98	84 Po ポロニウム 209	85 At アスタチン 210	86 Rn ラドン 222
7	87 Fr フランシウム 223	88 Ra ラジウム 226	89-103 アクチノイド Ac-Lr	104 Rf ローレンシウム 261	105 Db ドブニウム 262	106 Sg シーボグム 263	107 Bh ブヘリウム 264	108 Hs ハッシウム 265	109 Mt メンテネウム 266	110 Ds ダズニウム 267	111 Rg ローゲンニウム 268	112 Cn キウワニウム 269	113 Nh ニホニウム 270	114 Fl フルロウニウム 271	115 Mc モックニウム 272	116 Lv リベルリウム 273	117 Ts テネシウム 274	118 Og オガネソン 276
6	57 La ランタン 138.9	58 Ce セリウム 140.1	59 Pr プラセオジム 140.9	60 Nd ネオジム 144.2	61 Pm プロメチウム 145	62 Sm セミウム 150.4	63 Eu ユウロピウム 152.0	64 Gd ガドリウム 157.3	65 Tb テルビウム 158.9	66 Dy ジロジウム 162.5	67 Ho ホウメシウム 164.9	68 Er エルビウム 167.3	69 Tm テュリウム 168.9	70 Yb イットリウム 173.0	71 Lu ルテチウム 175.0			
7	89 Ac アクチン 227	90 Th トリウム 232.0	91 Pa protactinium 231.0	92 U ウラン 238.0	93 Np ネプチウム 237	94 Pu プルトニウム 239	95 Am アメリシウム 243	96 Cm キュリウム 247	97 Bk バークリウム 247	98 Cf カリフォルニウム 251	99 Es エイスンマンニウム 252	100 Fm フェルミウム 257	101 Md メンデルレーフニウム 258	102 No ノボリウム 259	103 Lr ローレンシウム 262			

(注) 本表の原子量(括弧内)は、有効数字の4桁目まで1以内であるが、*を付したものは2以内、†を付したものは3以内である。また、安定同位体がなく、特定の天然同位体組成を示さない元素については、その元素の最も安定な同位体の原子量を()の中に表示してある(したがってその値を他の元素の原子量と同様に扱うことはできない)に注意していただきたい。日本化学会・原子番号委員会による。

ネオジム磁石

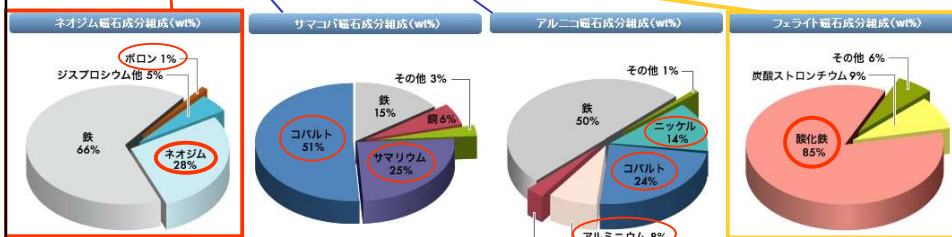
各永久磁石の強さ比較

(※直径30mm、磁化方向厚さ10mmの円柱型磁石)
(※ラバーマグネットは 30mm×30mm×2mmの角型)



佐川 真人
住友特殊金属
1984年発明

図は、Wikimediaより借用



図は、二六製作所およびNeoMag株式会社のホームページより借用しました。

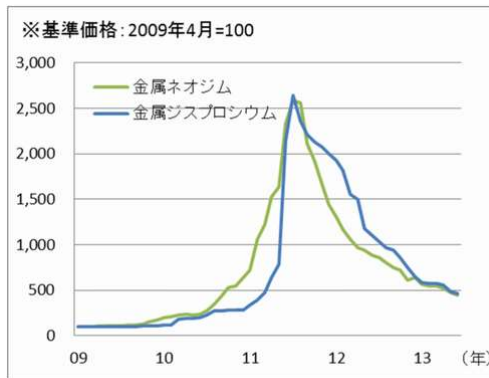
ネオジム (Nd)、ジスプロシウム (Dy)

ネオジム磁石



■国別鉱石生産量 (2013年)

	国名	生産量 (トン)	割合
1位	中国	100,000	90.9%
2位	アメリカ	4,000	3.6%
3位	インド	2,900	2.6%
上位3カ国計		106,900	97.2%



<国家備蓄倉庫 空中写真> 約37,000m²(野球場が約3面入る広さ)

茨城県



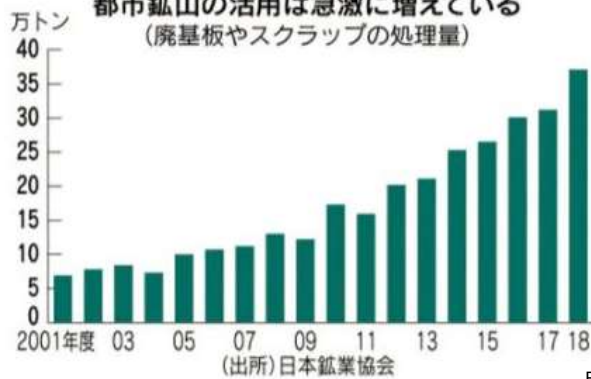
写真は、JOGMECのホームページより借用しました。

日本での都市鉱山の利用

三菱マテリアル、住友金属鉱山 等



都市鉱山の活用は急激に増えている
(廃基板やスクラップの処理量)



日本の都市鉱山の金の埋蔵量は6800トで、南アフリカの埋蔵量を上回る。

日本経済新聞電子版 2020.6.9より引用。

スマホの中の金属資源



リサイクル重点鉱種(5)

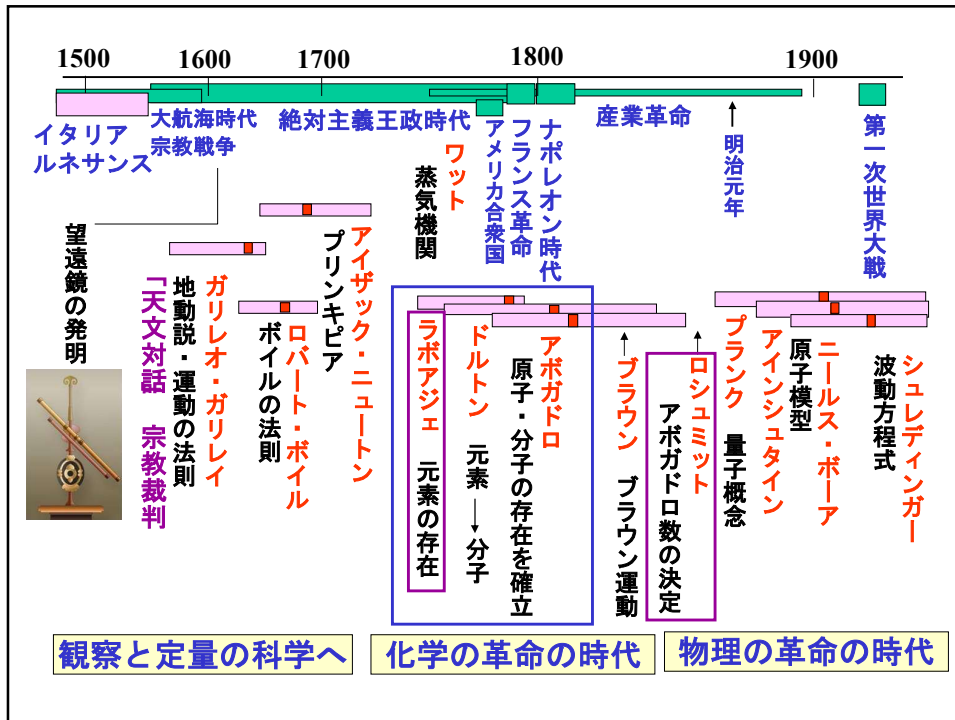
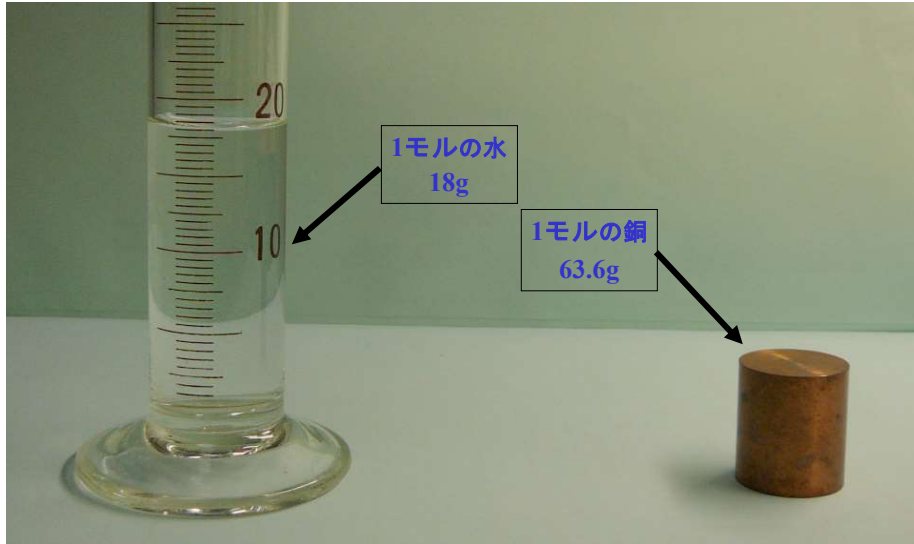
レアアース

・ネオジム (Nd) ・ジスプロシウム (Dy)

・コバルト (Co) ・タングステン (W)
・タンタル (Ta)

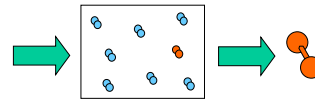
人はどのようにして原子を知ったか

垓 京 兆 億 万
 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
1モル = 6×10^{23} 個 = 600,000,000,000,000,000,000,000 個
 Zゼタ Eエクサ Pペタ Tテラ Gギガ Mメガ kキロ



原子・分子概念の成立

気体 ?



19世紀—化学の革命の時代

1789年 **ラヴォアジエ** 質量保存の法則 元素の存在
1801年 **ドルトン** 相対原子質量表 倍数比例の法則
1811年 **アボガドロ** → **アボガドロ定数**
同温度、同圧力、同体積の気体は同数の粒子を含む



A.-L. Lavoisier



J. Dalton



A. Avogadro

写真は、Wikimedia から引用しています。

原子の形を決めた3人の男たち



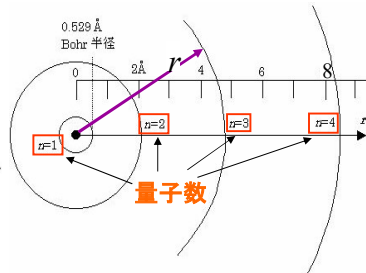
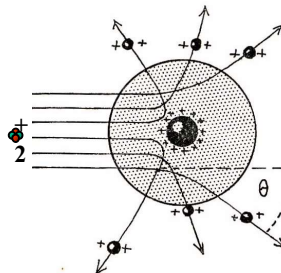
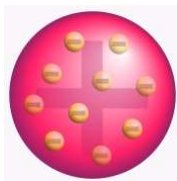
J.J. Thomson
1856-1940



Ernest Rutherford
1871-1937



Niels Bohr,
1885-1962



さて、この多様な元素は何で出来ているのか？

原子を構成する粒子

118種の元素の原子は総て、
電子・陽子・中性子の3つ
から成り立っている。

He原子



	電子	陽子	中性子
電荷	-1 **	+1	0
質量/kg	9.109×10^{-31} 1	1.673×10^{-27} 1837	1.6749×10^{-27} 1839
広がり/m	0.529×10^{-10} * 44000	1.2×10^{-15} 1	1.2×10^{-15} 1

*ボーア半径 ** 1.602×10^{-19} C

元素を構成する粒子

	H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
電子	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
陽子	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
中性子*	0	2	4	5	6	6	7	8	10	10
原子量	1.01	4.00	6.94	9.01	10.8	12.0	14.0	16.0	19.0	20.2

* 主たる同位体。



同位体の例

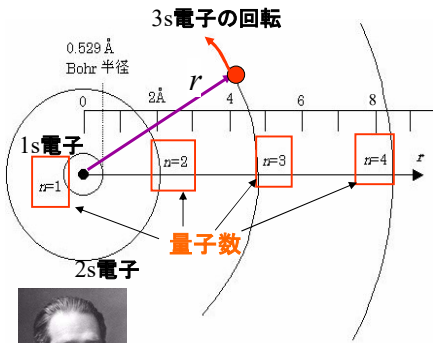
	水素	重水素	トリチウム	ウラン238	ウラン235*	ウラン234
電子	1	1	1	92	92	92
陽子	1	1	1	92	92	92
中性子	0	1	2	146	143	142
存在%	99.985	0.015	12.33y	99.275	0.72(7×10 ⁸ y)	0.0055

*ウラン235 : $^{235}\text{U} \rightarrow ^{231}\text{Th} + \alpha (^4\text{He}) + \gamma$

さて、電子は原子中にどのように入っていくのか？

古典力学のイメージ

電子は核の周りを回転する

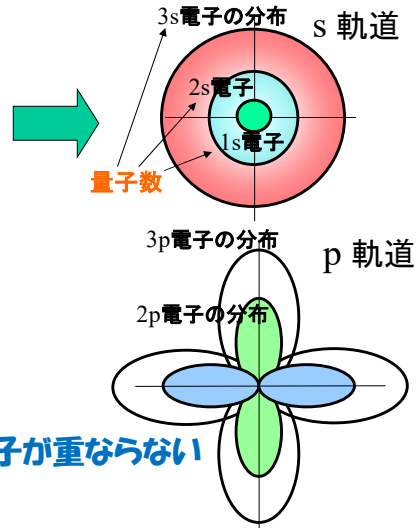


Niels Bohr

反発を避けて電子が重ならないように分布する

量子力学のイメージ

電子は核の周りに分布する



電子の形と量子数

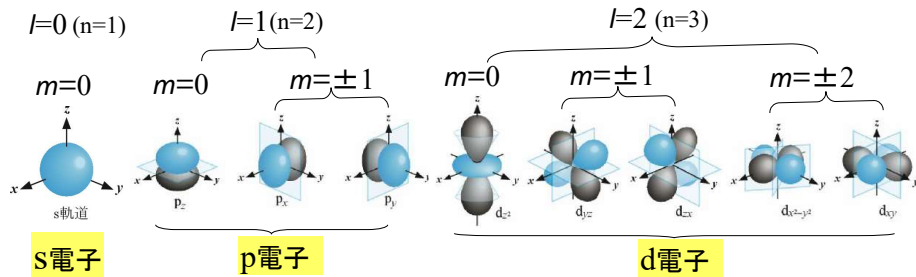
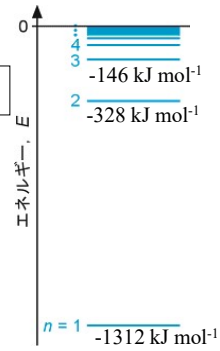
3つの量子数が、電子のエネルギーと形を決める

主量子数 n : $n = 1, 2, 3, \dots$ → 電子のエネルギー

方位量子数 l : $l = 0, 1, \dots, n-1$

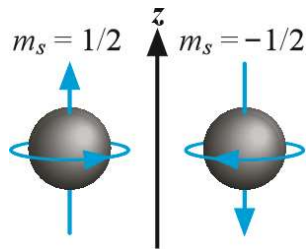
磁気量子数 m : $m = -l, -l+1, \dots, 0, \dots, l-1, l$

電子の形



電子スピン

古典的には電子の回転のようなイメージであり、原子、分子や物質の磁氣的性質の源になるものである。その大きさはスピン量子数($s = 1/2$)で与えられ、 $m_s = \pm 1/2$ の2つのスピン磁気量子数を持つ。



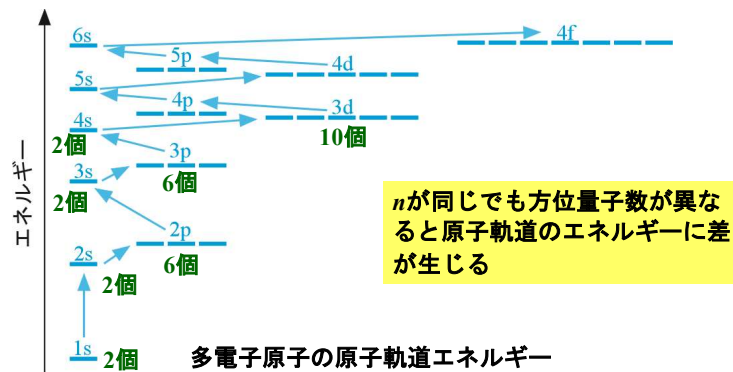
電子スピンのイメージとスピン磁気量子数の符号

電子の形が全く一緒でも、スピン磁気量子数が異なれば、同じ位置を占められる。

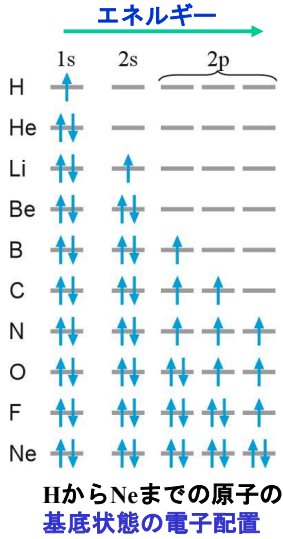
電子の入り方

原子のエネルギーは電子が入っている軌道のエネルギーを合計したものになる。

エネルギーの最も低い状態（基底状態）の電子配置を決めるためには、エネルギーの低い軌道から順に電子を入れていけばよい。



パウリの原理とフントの規則に従って順に電子を入れていくと、基底状態の電子配置を得ることができる



パウリの排他原理 (Pauli exclusion principle)

1つの原子の中の各電子は全く同じ量子数の組 (n, l, m, m_s) をとることはできない。

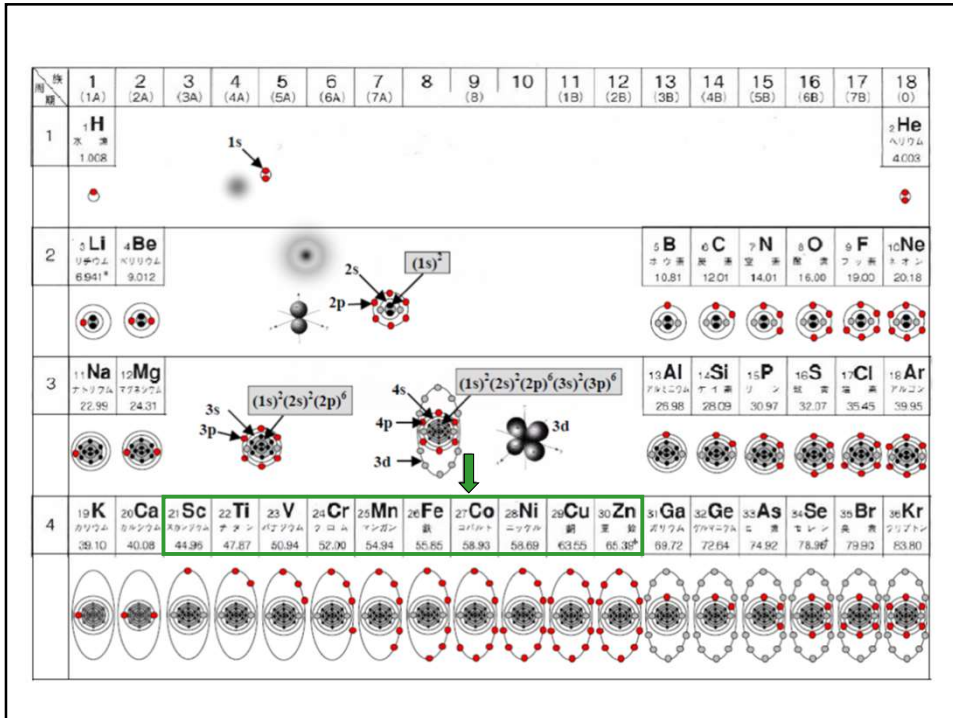
フントの規則 (Hund's rule)

$\{2p_x, 2p_y, 2p_z\}$ のようなエネルギーの等しい軌道に電子を入れる場合には、スピンを同じ向きにして (つまりスピン磁気量子数 m_s をそろえて) なるべく1個ずつ配置する。右図のC~Oがこれにあたる。

電子配置の記述法

酸素Oの場合 : $(1s)^2(2s)^2(2p)^4$

ナトリウムNaの場合 : $(1s)^2(2s)^2(2p)^6(3s)^1$



周期表の語呂合わせ

族 周期	1 (1A)	2 (2A)	3 (3A)	4 (4A)	5 (5A)	6 (6A)	7 (7A)	8	9 (8)	10	11 (1B)	12 (2B)	13 (3B)	14 (4B)	15 (5B)	16 (6B)	17 (7B)	18 (0)
1	1H 水素 1.008																	2He ヘリウム 4.003

水兵

2	3Li リチウム 6.941*	4Be ベリリウム 9.012											5B ボロネン 10.81	6C 炭素 12.01	7N 窒素 14.01	8O 酸素 16.00	9F フッ素 19.00	10Ne ネオン 20.18
---	------------------------------	------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	---------------------------	-----------------------------

リーベぼくの船

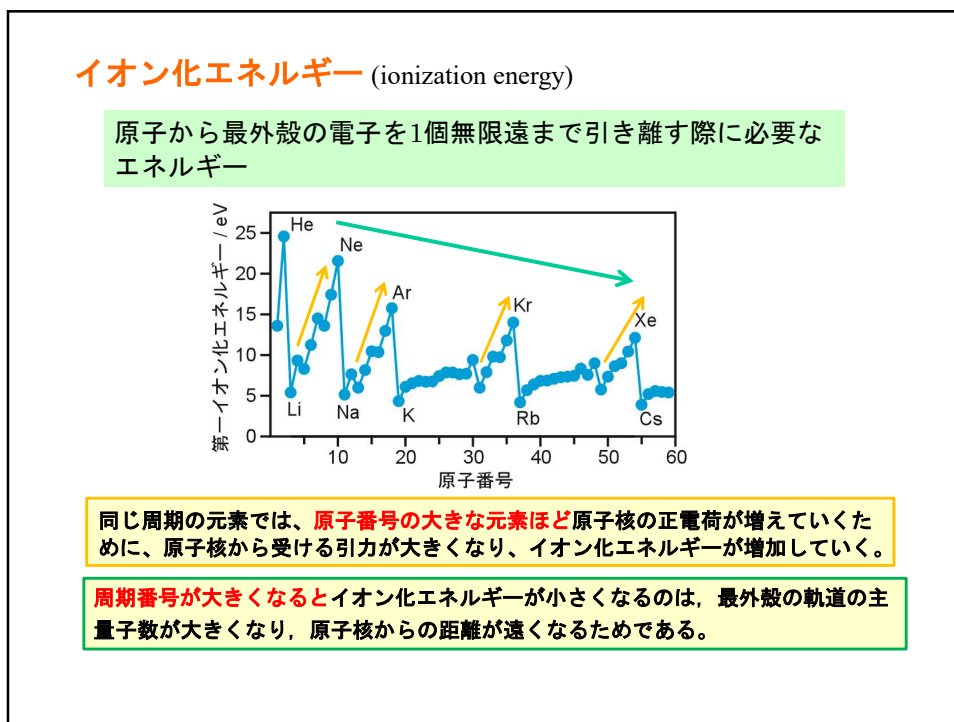
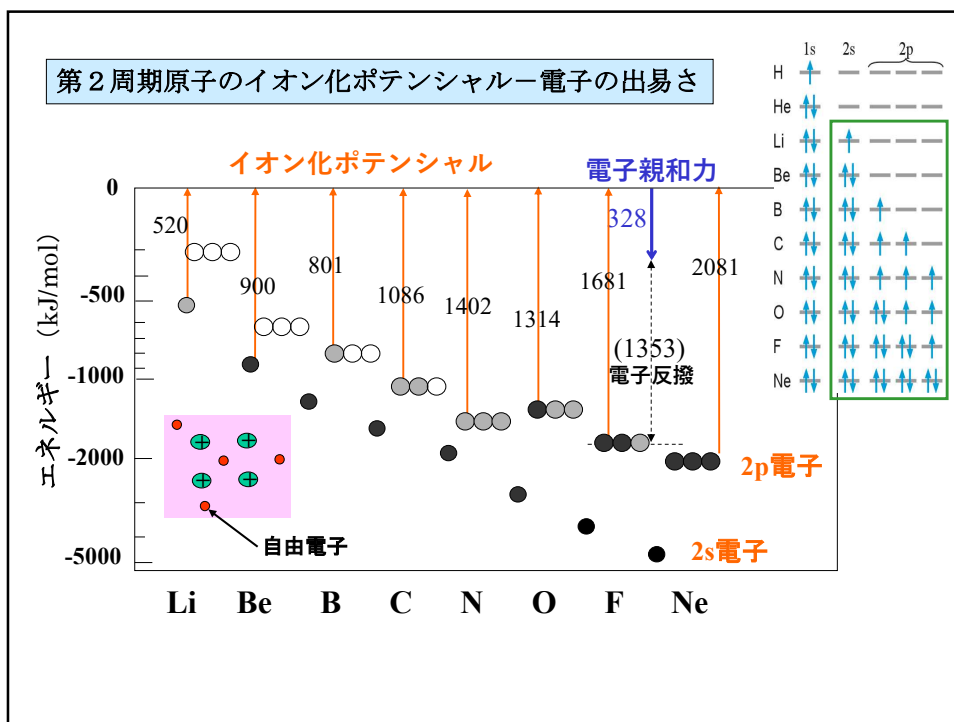
3	11Na ナトリウム 22.99	12Mg マグネシウム 24.31											13Al アルミニウム 26.98	14Si ケイ素 28.09	15P リン 30.97	16S 硫黄 32.07	17Cl 塩素 35.45	18Ar アルゴン 39.95
---	-------------------------------	--------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------------------------------	-----------------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------------	------------------------------

生ガールシッフスクラー(ク)

4	19K カリウム 39.10	20Ca カルシウム 40.08	21Sc スカンジウム 44.96	22Ti チタン 47.87	23V バナジウム 50.94	24Cr クロム 52.00	25Mn マンガン 54.94	26Fe 鉄 55.85	27Co コバルト 58.93	28Ni ニッケル 58.69	29Cu 銅 63.55	30Zn 亜鉛 65.39*	31Ga ガリウム 69.72	32Ge ゲルマニウム 72.64	33As ヒ素 74.92	34Se セレン 78.96	35Br 臭素 79.90	36Kr クリプトン 83.80
---	-----------------------------	-------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----------------------------	------------------------------	---------------------------	------------------------------	------------------------------	---------------------------	-----------------------------	------------------------------	--------------------------------	----------------------------	-----------------------------	----------------------------	-------------------------------

かか好かんテレビ 苦勞待って 子にどうも会えんが・・・

さて、電子の入り方で原子の性質は
どのように違うのか？



電子親和力 (electron affinity, EA)

電子を1つ加えたときに原子がより安定な状態になることで放出されるエネルギー

原子の電子親和力 (単位はeV) 出典: 化学便覧 基礎編 改訂5版

H							He
0.754							< 0
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
0.618	< 0	0.277	1.263	-0.07	1.461	3.399	< 0
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
0.548	< 0	0.441	1.385	0.747	2.077	3.617	< 0
K	Ca					Br	Kr
0.501	< 0					3.365	< 0

2族のアルカリ土類金属原子はns軌道に電子を2個, 18族の希ガス原子はnsとnp軌道に合わせて8個ちょうど入った状態なので, 余分な電子が入ると不安定になる。

17族のハロゲン原子は電子を1つ受け取るとnsとnp軌道が全部で8個(閉殻)になり安定となるため, 大きな正の電子親和力を持つ

周期表

アルカリ金属 アルカリ土類金属 ハロゲン 不活性気体

元素の周期表 (長周期型)

周期	1 (1A)	2 (2A)	3 (3A)	4 (4A)	5 (5A)	6 (6A)	7 (7A)	8 (8)	9 (9)	10 (10)	11 (11)	12 (12)	13 (13)	14 (14)	15 (15)	16 (16)	17 (17)	18 (18)				
1	1 H 水素 1.008																	2 He ヘリウム 4.003				
2	3 Li リチウム 6.941	4 Be ベリリウム 9.012	遷移元素														5 B ボロン 10.81	6 C 炭素 12.01	7 N 窒素 14.01	8 O 酸素 16.00	9 F フッ素 19.00	10 Ne ネオン 20.18
3	11 Na ナトリウム 22.99	12 Mg マグネシウム 24.31	遷移元素														13 Al アルミニウム 26.98	14 Si ケイ素 28.09	15 P リン 30.97	16 S 硫黄 32.07	17 Cl 塩素 35.45	18 Ar アルゴン 39.95
4	19 K カリウム 39.10	20 Ca カルシウム 40.08	21 Sc スカンジウム 44.96	22 Ti チタン 47.87	23 V バナジウム 50.94	24 Cr クロム 52.00	25 Mn マンガン 54.94	26 Fe 鉄 55.85	27 Co コバルト 58.93	28 Ni ニッケル 58.69	29 Cu 銅 63.55	30 Zn 亜鉛 65.39	31 Ga ガリウム 69.72	32 Ge ゲルマニウム 72.64	33 As ヒ素 74.92	34 Se セレン 78.96	35 Br 臭素 79.90	36 Kr クリプトン 83.80				
5	37 Rb ルビジウム 85.47	38 Sr ストロンチウム 87.62	39 Y イットリウム 88.91	40 Zr ジルコニウム 91.22	41 Nb ニオブ 92.91	42 Mo モリブデン 95.94	43 Tc テクネチウム 99.0	44 Ru ルテチウム 101.1	45 Rh ロジウム 102.9	46 Pd パラジウム 106.4	47 Ag 銀 107.9	48 Cd カドミウム 112.4	49 In インジウム 114.8	50 Sn スズ 118.7	51 Sb ヒ素 121.8	52 Te テルル 127.6	53 I ヨウ素 126.9	54 Xe キセノン 131.3				
6	55 Cs セシウム 132.9	56 Ba バリウム 137.3	57-71 La-Lu ランタノイド	72 Hf ハフニウム 178.5	73 Ta タンタル 180.9	74 W タングステン 183.8	75 Re レニウム 186.2	76 Os オスミウム 190.2	77 Ir イリジウム 192.2	78 Pt 白金 195.1	79 Au 金 197.0	80 Hg 水銀 200.6	81 Tl タリウム 204.4	82 Pb 鉛 207.2	83 Bi ビスマス 209.0	84 Po ポロニウム 209	85 At アスタチン 210	86 Rn ラドン 222				
7	87 Fr フランシウム 223	88 Ra ラジウム 226	89-103 Ac-Lr アクチノイド	104 Rf ラザフォード 261	105 Db ドブニウム 262	106 Sg シーボグム 263	107 Bh ボーリウム 264	108 Hs ハッシウム 265	109 Mt メンテネウム 266	110 Ds ダズニウム 267	111 Rg レグニウム 268	112 Cn キウワム 269	113 Nh ニホニウム 270	114 Fl フルロウィウム 271	115 Mc モックウィウム 272	116 Lv リベルモウィウム 273	117 Ts テネシウム 274	118 Og オガネソン 274				
6	ランタノイド																					
7	アクチノイド																					

(注) 本表の原子量(括弧内)は、有数の原子4桁目まで1以内であるが、*を付したものは2以内、+を付したものは3以内である。また、安定同位体がなく、特定の天然同位体組成を示さない元素については、その元素より重なり出した同位体組成の中から1種を選んでその質量数()の中に表示してある(したがってその値を他の元素の原子量と同様に扱うことはできない)点に注意していただきたい。日本化学会、原子量委員会による。

これらの元素はどこから来たか？

H, He: ビッグバンで生成 (138億年前)



ビッグバンで出来たガスが集まって一定密度になると核融合が始まる。

Li-Fe: 核融合で生成 (太陽の年齢は46億年)



太陽は100億年程度の寿命で最後は核融合で生成した元素(最大のもは26番元素のFe)からなるガスを放出して白色矮星になる。

Fe-Cf: 超新星爆発で生成

太陽より巨大な恒星では、終末に超新星爆発を起こすが、この際 Cf (98 カリフォルニウム) 迄の元素が生成する。

我々の体を作っている元素(原子)は、何十億年も前の超新星爆発を経て生成されたものである！

授業のレジメと予習用のノートは

ホームページ「木々の移ろい」

<http://www.plant.kjmt.jp/>

のトップページの最下段にある

「[鈴鹿医療科学大学](#)」をクリックして

「[化学の世界](#)」に入って、

pdfファイルをダウンロードしてください。



石巻白の浄安杉 2023.2.11 巨樹探訪を改訂しました。



木々の移ろい

「木々の移ろい」をスマホでもご覧下さい。文字化けを修正しました。

ホーム	季節の木	トピックス	木のリンク	巨木探訪	巨木リンク	四季の草花
樹木図鑑 (50 音順・科名別) - 約 900 種の木の花や実の写真があります						
巨木図鑑 (地域別・樹種別) - 約 700 本の巨木の写真があります						
草花図鑑 (50 音順) - 約 100 種の草花(主として高山植物)の写真があります						

このページでは、一年を通じて次々と開花する身近な木の花や、紅葉・木の実等をご紹介し、また、私や仲間が訪れた全国各地の巨木の写真を載せています。
 木々たちは、まだ寒い冬のあいだから芽を出し、早春から初夏にかけて蕾を育て花を咲かせ、やがて青々と葉を茂らせて太陽の恵みを受け、幹を太らせ枝を伸ばします。そして、晩秋となり太陽が低くなると、つかの間の紅葉を残して葉を落とし、ひっそりと次の一年に備

彩りは、形味も多種多様で、アライグマやリスなどが好んで食べ、熊やイノシシの食害の性だといふ。伊吹山もりびとの会の方たちが再生に取り組んで、ようやく一部が復活してきている。高山植物の種類自体は今も豊富なので、この数年で、昔のような伊吹山前が再現することを期待したい。「イブキフウロ」「クガイソウ」「シモツクソウ」「ヤマルリトラノオ」などを収録した。

				
イブキフウロ (8/16)	クガイソウ (8/8)	シモツクソウ (7/10)	シモツクソウ (8/8)	ヤマルリトラノオ (8/16)

クリスマスや新年のプレゼントに、木々の移ろい製作の「私の記念日(The book of days)」をどうぞ。詳細はこちら。

感想やご意見を楽しみにしております
 根本 敏 (ajimoto@home.email.ne.jp) にメールをお寄せください。

鈴鹿県立医科大学