# ま　え　が　き

自然科学の基礎となる学問分野は物理学と化学に大別できるが，化学は物質を原子や分子あるいはイオンの集合体として扱う学問といえる。物質を扱うという性質上，化学と社会とのつながりは密接である。近年の物質文明の発展は，化学なくして不可能なものであったが，現時点においても化学の進歩はめざましく，化学的知識の蓄積は膨大で，今後も加速度的に増えていくことが予想される。このような時代に生きる現代人が，物質に関心をもち，物質についての基礎的な知識を身に付けておくことは，関わる分野が何処（どこ）であれ，必要なことだと考えられる。

このような現代社会において，大学に入学してくる理工系の初年度の学生に，化学の基礎としてどのような内容を教えるかは難しい問題である。今までにも初年度学生向けの教科書や参考書が数多く出版されている。“基礎化学”というと，内容が非常に多岐にわたり，したがって各項目は表面的な取扱いにならざるを得ない場合が多いが，著者らは，本書において，以下の内容を化学の基礎事項と位置づけた。

1．化学が対象とする物質の出発点である原子の理解。
2．原子（元素）のもつ一般的性質とその周期性の理解。
3．原子どうしの結び付き（化学結合）の基礎的事項に関する理解。
4．化学結合の結果できる分子や結晶の構造の基礎的事項に関する理解。
5．原子，分子あるいはイオンの集合体としての物質（特に気体）の性質の基礎的事項に関する理解。

“基礎的事項”の範囲と内容に大いに議論のあるところではあるが，初年度学生が対象なので範囲はできるだけ絞り，内容に関してはレベルをあまり下げないよう心がけた。

また，理工系の学生と一口でいっても，そのスペクトルはかなり広い。本書では

1．将来，化学の専門分野に進みたい学生

2．化学を専門とはしないがそれなりの化学の知識を身に付けたい学生

を対象とした。

本書では，著者3名全員で，わかりやすさ，記述や図表の正確さ，用語や記号の統一など，全体にわたって検討した。しかし，不十分な点がまだまだあると思われるので，お気づきの点をご指摘いただければ幸いである。

本書の出版にあたり，コロナ社に心より感謝申し上げる。

2014年1月

著者一同

# 目　　次

## 1. 基 礎 事 項


1.1 原子と元素……1
1.1.1 原子の概念……1
1.1.2 原子と元素……2
1.2 原子の構成……3
1.3 元素の起源と存在量……4
1.4 単　　位……6
1.4.1 SI　単　　位……6
1.4.2 濃度を表す単位……10
1.5 基礎物理定数……11
1.6 数値の取扱い……12
1.6.1 有効数字……12
1.6.2 誤　　差……14
1.6.3 真度と精度……15
1.6.4 偶然誤差と正規分布……16
1.6.5 平均値と標準偏差……16
1.6.6 信頼限界……17
演習問題……18


## 2. 原子の構造


2.1 量子力学以前……19
2.2 原子構造 ― 水素原子 ―……21

2.3 原子構造 ― 多電子原子 ―……29
2.3.1 電 子 ス ピ ン……29
2.3.2 電 子 配 置……30
演 習 問 題……34

## 3. 原子の一般的性質

3.1 原子の電子配置と周期表……36
3.2 原子半径とイオン半径……40
3.3 元素の性質の周期性（イオン化エネルギー，電子親和力，電気陰性度）
……43
3.3.1 イオン化エネルギー……44
3.3.2 電 子 親 和 力……46
3.3.3 電 気 陰 性 度……48
演 習 問 題……51

## 4. 化 学 結 合

4.1 イ オ ン 結 合……53
4.1.1 イオン結合の形成……53
4.1.2 イオン結晶の種類と特徴……55
4.1.3 限 界 半 径 比……57
4.1.4 イオン結晶の結合エネルギー……59
4.2 共 有 結 合……63
4.2.1 共有結合の概念……63
4.2.2 原子価結合理論……66
4.2.3 分 子 軌 道 理 論……67
4.2.4 等核二原子分子の分子軌道……73
4.2.5 異核二原子分子の分子軌道……77
4.3 金 属 結 合……79

4.3.1 金属の結晶構造……80
4.3.2 バンド理論……82
4.3.3 半導体……84
4.4 配位結合……86
4.4.1 配位結合……86
4.4.2 錯体……87
演習問題……90

## 5. 分子間相互作用

5.1 イオン–双極子相互作用……93
5.2 双極子–双極子相互作用……94
5.3 イオン–誘起双極子相互作用……95
5.4 双極子–誘起双極子相互作用……96
5.5 瞬間的双極子–誘起双極子相互作用……97
5.6 ファン・デル・ワールス相互作用……98
5.7 反発力……99
5.8 水素結合……99
5.9 電荷移動相互作用……102
演習問題……102

## 6. 分子の構造

6.1 共有結合性の分子（混成）……104
6.2 原子価殻電子対反発モデル……109
演習問題……115

## 7. 物質の状態 ― 気体状態 ―

7.1 物質の状態……116
7.2 理想気体……119
7.3 理想気体の分子運動論……120
7.4 マクスウェル分布……123
7.5 実在気体 ― ファン・デル・ワールスの状態方程式 ―……126
演習問題……133

付録A 量子力学に関わる諸法則……134
A.1 プランクの量子説：光の非連続性……134
A.2 アインシュタインの光量子説：光の粒子性……135
A.3 ド・ブロイ波：物質の波動性……135
A.4 ハイゼンベルグの不確定性原理……136
A.5 シュレディンガーの波動方程式（シュレディンガー方程式）……136
A.5.1 箱の中の粒子（1次元）……138
A.5.2 調和振動子（1次元）……139
付録B ボーアの原子模型……142
付録C $I=\int_0^\infty x^n \mathrm{e}^{-ax^2}\mathrm{d}x$ の値……145

**参考文献**……147
**元素の周期表**……148
**演習問題解答**……150
**索引**……153

# 1章 基礎事項

本章には，2章以下の内容を理解するために必要と思われる化学の基礎的事項が記載されている。大学の理工系学科の化学の基礎では，多くの場合，原子の構造など物理学に近い分野やエネルギーなどの定量的取扱いも重要となる。そのために，「物理量」と呼ばれるさまざまな量について知り，それらについて計算できることが必要である。

## 1.1 原子と元素

### 1.1.1 原子の概念

万物の根源が原子であるという考え方は，古代ギリシャ時代からすでにデモクリトス（Democritus）らの学者達によって，さまざまな自然現象を説明しようという試みに用いられていた。**原子説**が提唱されたのは，1803年ドルトン（Dalton）によってであるが，それまでの18世紀後半から19世紀の初めにかけて，原子の概念を証明すべく間接的な証拠が実験的に集められていた。その重要な貢献は，つぎの三つの法則の発見であった。

(1) 「**質量不変の法則**」：ラボアジェ（Lavoisier），1774年，『反応の前後で物質の質量が変わらない。』

(2) 「**定比例の法則**」：プルースト（Proust），1799年，『同一化合物に含まれている成分元素の質量の比は，製法のいかんにかかわらず常に一定である。』

(3) 「**倍数比例の法則**」：ドルトン，1803年，『2種の元素からなる化合物が

何種類かあるとき，一方の元素の一定量と化合している他方の元素の量は簡単な整数比をなす。』

原子の存在の直接的な証拠が得られるようになったのは，20 世紀に入ってからである。

### 1.1.2 原 子 と 元 素

物質を構成する単位として**原子**（atom）と**元素**（element）があり，しばしば混同され，混乱して理解され，使われている。原子とは「それ以上に分割することのできない粒子」で，物質を構成する最小単位である。元素は複雑な物質を分離していったとき，化学的に 2 種類以上の物質に分解できない物質の基本単位であり，その大きさや数をかぞえることのできない物質の概念である。例えば，酸素（oxygen）という単語からでは，それが原子を示しているのか，元素を示しているのかはわからない。酸素という元素はある一定の質量と大きさ，構造をもった酸素原子から成り立っている物質であり，ある特定の化学的性質を示すものである。また，原子という単位で見ると，酸素原子何個分というように酸素という元素の量を測ることができる。

2 種類以上の元素が結び付いてできた物質を**化合物**（compound）と呼び，1 種類の元素だけからなる物質を**単体**（simple substance）と呼ぶ。化合物と単体を合わせて**純物質**（pure substance）という。物質には純物質の他にいくつかの純物質が混ざっている**混合物**（mixture）があり，さらにその混ざり具合で，均一混合物と不均一混合物に分類される（**図 1.1**）。

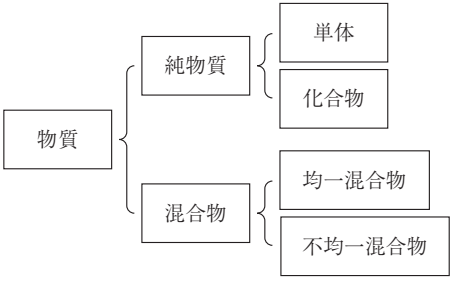


**図 1.1**　物質の分類

## 1.2 原 子 の 構 成

現在まで，118 種類の元素が知られている。すべての元素には固有の名前があるが，それ以外に，アルファベット 1 文字または 2 文字で，元素を表す記号，すなわち**元素記号**（symbol of element）が決められている。すべての元素の原子は正に帯電した原子の中心にある**原子核**（atomic nucleus）と，それを取り巻く負の電荷を帯びた**電子**（electron，$e^-$）から成る。原子核は**陽子**（proton，p）と**中性子**（neutron，n）の 2 種類の粒子からなり，電子は原子核のまわりを運動している。すなわち，すべての原子は 3 種類の構成要素，陽子，中性子および電子，から構成されていることになる。これら粒子の質量と電荷を**表 1.1** に示す。陽子と中性子の質量はほぼ等しく（中性子のほうがわずかに重い），どちらも電子の質量の約 1 840 倍である。名前が示すように，陽子は正の電荷をもち，中性子は電気的に中性である。陽子 1 個がもつ**電気素量**（elementary electric charge）と呼ばれる正電荷の量と電子 1 個がもつ負電荷の量は，ちょうど等しい。したがって，原子核の陽子と原子核外に同数の電子をもつ原子は，電気的に中性となる。原子の半径は $10^{-10}$ m 程度と小さいが，原子核はさらに小さく，半径 $10^{-15}$ m 程度である。しかし，原子の質量の大部分は原子核の質量である。

**原子番号**（atomic number，$Z$）は，元々は周期表の上での元素の場所（位置）を示すための背番号であったが，現在では原子核中の陽子の数として定義

**表 1.1**　原子を構成する粒子

| 粒子 | 記号 | 質量〔kg〕 | 質量〔u〕*1 | 電荷〔C〕 | 電荷*2 |
|---|---|---|---|---|---|
| 陽子 | p | $1.672\,621\,777\times10^{-27}$ | 1.007 276 47 | $1.602\,176\,565\times10^{-19}$ | $e$ |
| 中性子 | n | $1.674\,927\,351\times10^{-27}$ | 1.008 664 92 | 0 | 0 |
| 電子 | $e^-$ | $9.109\,382\,91\times10^{-31}$ | 0.000 548 58 | $-1.602\,176\,565\times10^{-19}$ | $-e$ |

*1 原子質量単位〔u または amu〕：炭素 12 の質量を 12 としたときの相対質量　$1\,u = 1.660\,54\times10^{-27}$ kg

*2 $e$：電気素量　$e = 1.602\,176\,565\times10^{-19}$ C

され，元素記号と 1 対 1 に対応している。原子番号は，電気素量を単位としたときの原子核がもつ正電荷に等しい。また，原子核中の陽子数と中性子数の和を**質量数**（mass number，$A$）と呼ぶ。原子番号および質量数により一義的に決められる原子核または原子の種類を**核種**（nuclide）という。必要に応じて原子番号は元素記号の左下，質量数は左上に，${}^{12}_{6}\mathrm{C}$，${}^{16}_{8}\mathrm{O}$ のように記載する。原子番号が等しく，質量数，すなわち中性子数が異なる核種を**同位体**（isotope）という。例えば ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$，${}^{2}_{1}\mathrm{H}$（重水素，D とも表記），${}^{3}_{1}\mathrm{H}$（三重水素，T とも表記）はいずれも水素の同位体である。

元素の特性は，その原子の原子核に入っている陽子の数，すなわち，原子核まわりの電子の数で決まる。

## 1.3　元素の起源と存在量

宇宙の始まりについて現在最も広く受け入れられている科学的モデルは，**ビッグバン理論**である。それによると，宇宙の始まりは，およそ 137 億年前，ほとんど無限大の密度と温度をもち，ほとんど無限大の質量という始状態からの急激な膨張である。当初非常に小さかった宇宙は，生まれるとすぐに急激な膨張を始めたと考えられている。このような膨張が始まって温度が下がると陽子や中性子といった素粒子が形成され，それらが結合して水素（H）やヘリウム（He）の原子核が形成された。宇宙はさらに膨張しながら温度を下げ，およそビッグバンから 30 万年後に温度が 4 000 K ぐらいまで下がると，それまで自由に動き回っていた電子が H や He の原子核に引き付けられ，原子が構成された。ビッグバン後の宇宙の膨張過程では，温度が急激に低下して物質の密度が低くなったため，He より重い核種はほとんど形成されなかったと考えられている。そのため，宇宙を構成する元素は，今日でもほとんどが H と He である。その後宇宙が膨張する一方で，重力により原子どうしが引き合って，局所的に周囲より高密度で高温の領域が生じた。高密度領域の中では，原子どうしの衝突がより頻繁になって運動エネルギーが増大し，そして，重力による原

子どうしの引き付け合いがいっそう密になり，ついには原子核と原子核が融合して新しい原子核を生成する反応，**核融合反応**（nuclear fusion reaction），が開始される状況に達した。このようにして，最初の星（恒星）が 130 億年以上前に誕生した。宇宙空間で生まれた星は，進化の過程で H や He の核融合反応によってそれより重い元素を合成した。あるものはその進化の最終段階で**超新星**（supernova）**爆発**と呼ばれる大爆発を起こし，その質量の大部分を宇宙空間に放出した。星から放出された物質はもとから星間にあった物質と混ざり合い，やがてそこから新しい星が生まれた。現在も続いているこのような過程が繰り返し起こり，その最終的な結果として，現在の宇宙におけるすべての元素（$Z=92$ まで）の存在に至っている。恒星と超新星は，水素より重いすべての元素を宇宙につくり出し，いまも製造を続けている。

多数の観測結果や宇宙のモデルを使って求められた宇宙における元素の相対的存在量を**図 1.2** に示す。横軸に原子番号，縦軸にケイ素（Si）の存在度を

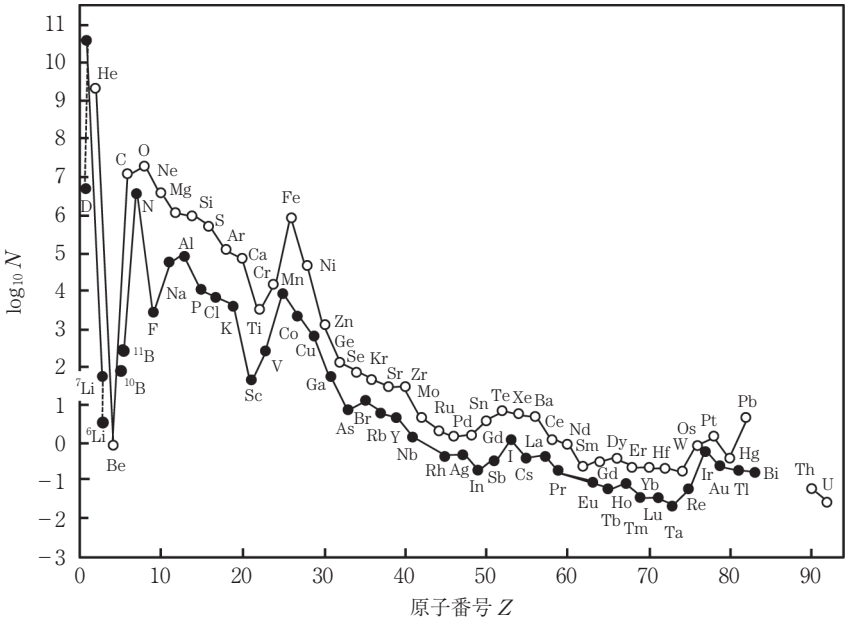


**図 1.2**　宇宙における元素の存在度（Si の存在度を $10^6$ としたときの相対値）

$10^6$ とした場合の各元素の存在度の対数をとってある。●は奇数原子番号の元素，○は偶数原子番号の元素である。図に見られる特徴はつぎのようにまとめられよう。

(1)　H と He は他の元素に比べて著しく存在度が高く，H 88.6%，He 11.3%。この 2 元素で 99.9%以上を占める。

(2)　最初の 42 元素の存在度は，原子番号の増加とともにほぼ指数関数的に減少し，その後の元素の存在度は低く，変動は小さい。

(3)　偶数の原子番号をもつ元素の存在度は，その両隣の奇数の原子番号をもつ元素の存在度より高い（**オド・ハーキンス則**，Odd-Harkins rule）。

(4)　原子番号 23～28（V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni）で存在度にピークがあり，Fe で極大となる。

(5)　D($^2$H), Li, Be, B は原子番号の小さい他元素に比べて存在量が著しく少ない。

(6)　軽い元素（Sc 辺りまで）においては，質量数が 4 で割れる核種（$^{12}$C, $^{16}$O, $^{20}$Ne, $^{24}$Mg, $^{28}$Si, $^{32}$S, $^{36}$Ar, $^{40}$Ca）の存在確率が高い。

なお，地殻における元素は存在度の多い順に，O, Si, Al, Fe となっている。

## 1.4　単　　位

### 1.4.1　SI　単　　位

化学の世界では，化学反応，電気，磁気，光などに関する種々の物理量を扱う。取り扱う対象によって，単位が異なる場合が多い。種々の物理量を簡便に比較するためには，統一的な単位の定義と使用が必要である。1960 年に国際度量衡総会で単位の国際基準（**国際単位系**，international system of units，**SI 単位系**）が採択され，各国でこの単位系を使用することが推奨されるようになった。

SI 単位系は，**基本単位**（fundamental unit），**組立単位**（derived unit，**誘導単位**ともいう），接頭語から構成される。SI 基本単位とは，長さ，質量，時間，

# 索　　引


【あ】

アキシアル位置 112
アクセプター半導体 85
アクセプターレベル 85
アクチノイド 39
圧縮因子 127
アボガドロ定数 61
アボガドロの法則 120
アルカリ金属 38
アルカリ土類金属 38

【い】

イオン化エネルギー 44
イオン結合 53
イオン結晶 55
イオン格子 55
イオン半径 42
異核間結合 77
位　相 23
井戸型ポテンシャル 138
陰イオン 42

【え】

エカトリアル位置 112
液　化 119
液　相 116
エネルギーギャップ 84
エネルギー準位 30

【お】

オド・ハーキンス則 6

【か】

化学結合 52
核間距離 54
核　種 4
角波動関数 23
核融合反応 5
化合物 2
価　数 42
偏　り 15
価電子 37
価電子帯 83
換算圧力 132
換算温度 132
換算状態方程式 132
換算体積 132
完全気体 120

【き】

希ガス 38
貴ガス 38
キーサム力 94
築き上げ原理 30
気　相 116
基礎物理定数 11
気体定数 120
気体分子運動論 121
基底状態 28, 143
軌　道 22
軌道関数 22
希土類元素 39
ギブズの相律 118
基本単位 6
凝　固 117
凝　縮 117
凝縮相 117
共鳴エネルギー 49
共有結合 52, 63
共有結合半径 40
共有電子対 65
極　性 77
極性結合 93
極性分子 77
均一系 116
禁制帯 84
金属結合 52, 79
金属結合半径 40

【く】

偶然誤差 15
組立単位 6

【け】

系 116
系統誤差 15
結合エネルギー 54
結合距離 54
結合次数 75
結合性分子軌道 68
結合電子対 65
結　晶 55
結晶格子 55
結晶格子エネルギー 60
限界半径比 57
原　子 2
原子価 67
原子価殻 109

原子価殻電子対反発モデル 109
原子核 3
原子価結合理論 63
原子軌道 22
——の線形結合 68
原子軌道関数 22
原子説 1
原子半径 40
原子番号 3
原子量 36
元　素 2
元素記号 3

【こ】

光　子 135
格子エネルギー 60
構成原理 30
光電効果 135
光量子 135
国際単位系 6
誤　差 14
固　相 116
古典論 19
孤立電子対 86, 110
混合物 2
混　成 104
混成軌道 104
根平均二乗速さ 126

【さ】

最外殻 37
最密充填 80
錯イオン 87
錯　塩 87
錯　体 87
三重結合 109
三重点 119

【し】

磁気量子数 23
質量数 4
質量/体積パーセント濃度 11
質量パーセント濃度 10
質量不変の法則 1
質量モル濃度 10
自　転 29
遮蔽効果 42
シャルルの法則 119
周　期 37
周期表 3, 19, 36
自由電子 80
自由度 118
充満帯 84
縮　重 28
縮　退 28
主遷移元素 38
主量子数 22
シュレディンガー方程式 21, 134
純物質 2
昇　華 117
昇華曲線 118
蒸気圧曲線 118
常磁性 30, 67
状態図 118
状態方程式 120
蒸　発 117
真性半導体 85
真　度 15
信頼区間 17
信頼限界 17

【す】

水素結合 99
スピン 29
スピン磁気量子数 29
スピン量子数 29

【せ】

正確さ 16
正規分布曲線 16
正　孔 84
精　度 15
節 23, 139
絶縁体 84
絶対誤差 15
絶対零度 7
節　面 26
遷移元素 38

【そ】

相 116
相応状態の法則 131
双極子 93
双極子モーメント 93
相　図 118
相対誤差 15
相対標準偏差 17
相平衡図 118
族 37

【た】

帯 83
体心立方格子 56
体積パーセント濃度 11
多重度 75
単位格子 55
単位胞 55
単結合 65
単結晶 55
単座配位子 88
単純立方格子 56
単　体 2

【ち】

中性子 3
超ウラン元素 39
超新星爆発 5
超臨界状態 119
超臨界流体 131
調和振動子 139
調和ポテンシャル 139

【つ】

対電子 66

【て】

定比例の法則　1
デバイ力　96
電荷移動錯体　102
電荷移動相互作用　102
電気陰性度　48
電気素量　3
典型元素　38
電　子　3
電子雲　22
電子殻　22
電子親和力　47
電子配置　30
伝導帯　84

【と】

同位体　4
動径確率関数　24
動径波動関数　23
動径分布関数　24
同族元素　37
等面積の規則　130
ドナー半導体　86
ドナーレベル　86
ドーピング　85
ド・ブロイの関係式　135
ド・ブロイ波　135

【な】

内　殻　55
内部遷移元素　38

【に】

二座配位子　88
二重結合　67, 107

【の】

濃　度　10

【は】

配位結合　86
配位子　87
配位数　56
配向力　94
排除体積　128
倍数比例の法則　1
パウリの禁制原理　30
パウリの排他原理　30
箱の中の粒子　138
パッシェン系列　21
波動関数　136
波動方程式　134
ハミルトニアン　137
ハミルトン演算子　137
ばらつき　15
バルマー系列　21
反結合性分子軌道　68
反磁性　30, 67
バンド　83
半導体　85
バンドギャップ　84
バンド構造　83
バンド理論　82

【ひ】

非 SI 単位　9
光の非連続性　134
非共有電子対　86, 110
非結合性分子軌道　71
ビッグバン理論　4
百万分率濃度　11
標準偏差　16
標　本　14
標本標準偏差　17

【ふ】

ファン・デル・ワールス
　相互作用　98
ファン・デル・ワールス
　定数　128
ファン・デル・ワールスの
　状態方程式　127
ファン・デル・ワールス
　半径　40
ファン・デル・ワールス
　方程式　128
ファン・デル・ワールス力
　94, 98
フェルミ準位　83
不確定性原理　136
不均一系　116
副　殻　33
不純物半導体　85
不対電子　30, 66
フックの法則　139
物質の三態　117
物質波　135
不変系　119
不偏分散　16
ブラケット系列　21
プランク定数　134
分　極　93
分極率　95
分　散　16
分散力　97
分子軌道　67
分子軌道理論　63
分子内水素結合　101
プント系列　21
フントの規則　32

【へ】

閉　殻　33
平均値　16
ベルヌーイの式　123
変動係数　17

【ほ】

ボーア半径　143
ボイル・シャルルの法則
　120
ボイルの法則　119
方位量子数　22
母集団　14
母標準偏差　14
母平均　14
ボルツマン定数　95, 123

ボルン指数　61
ボルン・ハーバーサイクル　59
ボルン・ランデの式　60

【ま】

マクスウェルの規則　130
マクスウェル分布　125
マクスウェル・ボルツマン分布　125
マーデルング定数　60

【め】

面心立方格子　56, 81

【も】

最も確からしい値　16
モル体積　120
モル濃度　10
モル百分率　10
モル分率　10

【ゆ】

融　解　117
融解曲線　118
誘起力　96
有効核電荷　42
有効数字　13
誘導単位　6

【よ】

陽イオン　42
溶　液　10
陽　子　3
溶　質　10
溶　媒　10

【ら】

ライマン系列　21
ラザフォードの原子模型　142
ラプラシアン　137
ラプラス演算子　137
ランタノイド　39
ランタノイド収縮　42

【り】

理想気体　120
立方最密充填　80
リュードベリ定数　20
量　子　134
量子化　143
量子数　21, 138
量子力学　134
臨界圧力　119, 130
臨界温度　119, 130
臨界体積　130
臨界点　119, 130

【れ】

励起状態　28, 143
零点エネルギー　140

【ろ】

六方最密充填　80
ローブ　27
ロンドン力　97

【C】

CT 錯体　102

【D】

d ブロック元素　38

【F】

f ブロック元素　38

【K】

K 殻　22

【L】

L 殻　22
LCAO　68

【M】

M 殻　22

【N】

N 殻　22
n 型半導体　86

【P】

p 型半導体　85
p ブロック元素　38

【S】

s ブロック元素　38
SI 接頭語　8
SI 単位系　6
sp 混成　107
sp 混成軌道　108
$sp^2$ 混成　106
$sp^2$ 混成軌道　106
$sp^3$ 混成　105
$sp^3$ 混成軌道　105

【V】

vsepr モデル　109

【ギリシャ文字】

$\pi$ 軌道　72
$\pi$ 結合　67
$\sigma$ 軌道　72
$\sigma$ 結合　67

## ―― 著 者 略 歴 ――

**大井　隆夫**（おおい　たかお）
1974 年　東京工業大学理学部応用物理学科卒業
1979 年　東京工業大学大学院博士課程修了
（原子核工学専攻）
工学博士
1979 年　米国 New York 州立大学 Stony Brook 校
～84 年　博士研究員
1984 年　上智大学助手
1987 年　上智大学講師
1991 年　上智大学助教授
1996 年　上智大学教授
現在に至る

**板谷　清司**（いたたに　きよし）
1977 年　上智大学理工学部化学科卒業
1979 年　上智大学大学院博士前期課程修了
（応用化学専攻）
1979 年　上智大学助手
1991 年　工学博士（上智大学）
1995 年　上智大学講師
1997 年　上智大学助教授
2005 年　上智大学教授
現在に至る

**竹岡　裕子**（たけおか　ゆうこ）
1996 年　上智大学理工学部化学科卒業
1998 年　上智大学大学院博士前期課程修了
（応用化学専攻）
2001 年　東京大学大学院博士後期課程修了
（システム量子工学専攻）
博士（工学）
2001 年　上智大学助手
2002 年　科学技術振興機構さきがけ研究員兼務
～06 年
2006 年　上智大学講師
2010 年　上智大学准教授
現在に至る


# 基 礎 化 学 ― 原子・分子の構造と化学結合 ―

Basic Chemistry ― Atomic and Molecular Structures and Chemical Bonding ―

© Takao Oi, Kiyoshi Itatani, Yuko Takeoka　2014


2014 年 3 月 10 日　初版第 1 刷発行　★

検印省略

著　者　大井　隆夫
板谷　清司
竹岡　裕子

発行者　株式会社　コロナ社
代表者　牛来真也

印刷所　萩原印刷株式会社

112-0011　東京都文京区千石 4-46-10

**発行所**　株式会社　**コ ロ ナ 社**

CORONA PUBLISHING CO., LTD.
Tokyo Japan
振替 00140-8-14844・電話（03）3941-3131（代）

ホームページ　http://www.coronasha.co.jp

ISBN 978-4-339-06631-9　（金）　（製本：愛千製本所）
Printed in Japan



本書のコピー，スキャン，デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は，いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします