もう一歩 先へ進みたい人の

化学でつかえる線形代数

Hurdling and Handling Linear Algebra in Chemistry:
for Those Taking a Step Forward

北條 博彦　著

コロナ社

目　　次

1章 ―分子構造

1.1　分子の形を数値で表す …… 1

1.1.1　座標軸と基底 …… 1

1.1.2　ベクトルの計算規則 …… 4

1.2　平面分子の並進と回転 …… 5

1.2.1　分子の並進 …… 5

1.2.2　分子の回転 …… 7

1.2.3　座標軸の回転 …… 8

1.3　行列計算のルール …… 10

1.3.1　行列の積 …… 10

1.3.2　逆行列 …… 13

1.3.3　移動と逆移動 …… 14

1.4　非平面分子の並進と回転 …… 16

1.4.1　三次元の並進と回転 …… 16

1.4.2　鏡映 …… 18

1.4.3　反転 …… 21

1.5　移動操作の線形性 …… 22

1.5.1　線形変換 …… 22

1.5.2　線形変換の性質 …… 25

2章 結晶格子

2.1 二次元の結晶格子 …… 26
2.1.1 二次元の格子ベクトル …… 26
2.1.2 分率座標 …… 28
2.2 逆行列と行列式 …… 30
2.2.1 逆行列の形 …… 30
2.2.2 行列式の形 …… 31
2.2.3 行列式の意味 …… 34
2.3 三次元の結晶格子 …… 35
2.3.1 三次元の格子ベクトル …… 35
2.3.2 晶系の変換 …… 38
2.3.3 7種の晶系 …… 40
2.4 いろいろな変形操作 …… 41
2.4.1 拡縮・せん断 …… 41
2.4.2 射影 …… 45
2.4.3 変形と行列式 …… 47
2.5 実格子と逆格子 …… 48
2.5.1 ベクトルの内積 …… 48
2.5.2 転置行列 …… 50
2.5.3 双対基底 …… 52
2.6 反変成分と共変成分 …… 56
2.6.1 座標変換と成分 …… 56
2.6.2 計量テンソル …… 59

3章 対称性と群論

3.1 対称性と点群 …… 61
3.1.1 対称操作の群 …… 61

3.1.2 点群の要素 …… 63
3.2 指標表と既約表現 …… 67
3.2.1 指標と群の表現 …… 67
3.2.2 既約表現 …… 69
3.2.3 対称操作の類 …… 71
3.3 アフィン変換 …… 73
3.3.1 並進対称性 …… 73
3.3.2 アフィン代数 …… 76
3.4 壁紙群（文様群） …… 77
3.4.1 二次元の並進と回転 …… 77
3.4.2 分率座標系における対称操作 …… 81
3.4.3 鏡映と映進 …… 83
3.5 空間群 …… 86
3.5.1 三次元の並進対称性 …… 86
3.5.2 三次元特有の対称操作 …… 88

4章 ―分子力学

4.1 分子の並進と回転 …… 90
4.1.1 並進運動 …… 90
4.1.2 回転運動 …… 92
4.1.3 慣性テンソル …… 94
4.2 行列の対角化と固有値 …… 96
4.2.1 慣性主値 …… 96
4.2.2 行列の対角化 …… 100
4.2.3 固有値の意味 …… 101
4.3 行列とテンソル …… 104
4.3.1 直積集合 …… 104
4.3.2 テンソルの代数 …… 107
4.3.3 独立変量のテンソル表記 …… 110

4.4 分子内部の変形と振動 …… 112
4.4.1 分子力学法 …… 112
4.4.2 分子の振動 …… 114
4.5 基準振動と対称性 …… 117
4.5.1 質量加重座標系 …… 117
4.5.2 基準振動解析 …… 120
4.6 基底の直交化 …… 122
4.6.1 座標軸の回転 …… 122
4.6.2 直交化の方法 …… 124

5章 ―多変量解析

5.1 データの統計値 …… 128
5.1.1 データの平均 …… 128
5.1.2 データの分散 …… 130
5.1.3 共分散行列 …… 132
5.2 最小二乗法と相関係数 …… 134
5.2.1 最小二乗法 …… 134
5.2.2 相関係数 …… 136
5.3 多重線形回帰 …… 138
5.3.1 行列型データ …… 138
5.3.2 回帰式の意味 …… 140
5.4 主成分分析 …… 142
5.4.1 行列の因数分解 …… 142
5.4.2 次元削減 …… 144
5.4.3 主成分分析 …… 146
5.5 固有値分解と特異値分解 …… 149
5.5.1 固有値分解 …… 149
5.5.2 特異値分解 …… 152
5.6 連立一次方程式の解 …… 154

5.6.1　一意解と不定解 …… 154
5.6.2　最小二乗解 …… 156
5.6.3　分子構造への応用 …… 158

6章 量子化学

6.1　ベクトルの抽象化 …… 162
6.1.1　基底と成分表示 …… 162
6.1.2　ブラケット記法 …… 165
6.1.3　行列の抽象化 …… 167
6.2　状態をベクトルで表す …… 168
6.2.1　状態と確率 …… 168
6.2.2　状態の観測 …… 171
6.2.3　独立系のテンソル表記 …… 173
6.3　シュレディンガー方程式 …… 175
6.3.1　離散から連続へ …… 175
6.3.2　波動関数 …… 178
6.4　分子軌道理論と LCAO 近似 …… 181
6.4.1　分子軌道理論 …… 181
6.4.2　LCAO 近似 …… 184
6.4.3　永年方程式 …… 185
6.5　永年方程式の解の意味 …… 188
6.5.1　ヒュッケル近似 …… 188
6.5.2　電子密度と結合次数 …… 190
6.5.3　分子軌道と対称性 …… 194

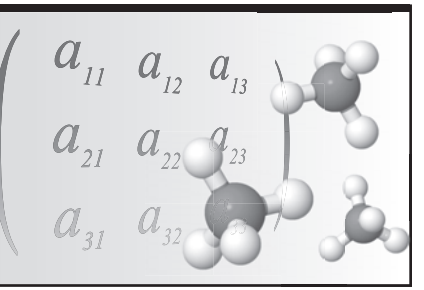
付　　録 …… 197
付録 1　壁紙群の一覧表 …… 197
付録 2　慣性テンソルの導出 …… 198
付録 3　Z-マトリクスから直交座標への変換 …… 199

参 考 文 献 …… 202
索 引 …… 204

凡 例

$\mathbf{A}$	（大文字・太字立体）	行　列
$\mathbf{A}^{-1}$	（上付き－1）	$\mathbf{A}$ の逆行列
$\mathbf{A}^{+}$	（上付き＋）	$\mathbf{A}$ の一般逆行列
$\mathbf{A}^{\mathrm{T}}$	（上付き T）	$\mathbf{A}$ の転置行列
$\mathbf{A}^{\dagger}$	（上付き †）	$\mathbf{A}$ の随伴行列
$\boldsymbol{a}_{i*}$	（添え字 $i*$）	$\mathbf{A}$ の i 行に相当する行ベクトル
$\boldsymbol{a}_{*j}$	（添え字 $*j$）	$\mathbf{A}$ の j 列に相当する列ベクトル
$\langle \boldsymbol{a} \rangle$		$\boldsymbol{a}_{*j}$ の平均を要素とする列ベクトル
$\langle\!\langle \boldsymbol{a} \rangle\!\rangle$		$\boldsymbol{a}_{*j}$ の加重平均を要素とする列ベクトル
$\dot{\boldsymbol{a}}_{*j}$	（文字上にドット）	$\boldsymbol{a}_{*j}$ から $\langle \boldsymbol{a} \rangle$ または $\langle\!\langle \boldsymbol{a} \rangle\!\rangle$ を引いたベクトル
a_{ij}	（小文字・斜体）	$\mathbf{A}$ の (i, j) 成分
$\boldsymbol{b}$	（小文字・太字斜体）	行ベクトルまたは列ベクトル
$\overline{\boldsymbol{b}}$	（文字上に横棒）	双対空間上のベクトル
$\tilde{\boldsymbol{b}}$	（文字上にチルダ）	$\boldsymbol{b}$ にダミー次元を加えたアフィン
$(\mathbf{A}\|\boldsymbol{b})$		アフィン変換の行列（ザイツの記法）
$\mathscr{A}$		$\mathbf{A}$ に対応する作用素

1章 分子構造



化合物の分子構造は，三次元空間における原子分布の情報にほかならない。二つの分子が同じであるなら，それぞれの分子を構成する原子は，同じ元素のものが同じ位置になるように重ね合わせることができる。実際には分子をつまんで動かすことはできないし，原子にも有限の大きさがあるので完全に重ね合わせることはできない。しかし，分子の構造をいったん数値の情報に置き換えてしまえば，あとはその数値を操作するだけで分子の構造を比較することができる。では具体的にはどうすればよいか？

1.1 分子の形を数値で表す

1.1.1 座標軸と基底

空間内の原子の位置を数値で表すには何通りかの方法がある。一つは基準となる目盛つきの軸を決めて，その軸上の位置の目盛を読み取る方法である（**図1.1**）[†1]。このとき2本の軸が必要ならばその空間を**二次元空間**（two-dimensional space），3本の軸が必要ならば**三次元空間**（three-dimensional space）という。この目盛つきの軸を**座標軸**（coordinate axis）といい，座標軸は目盛0のところで交わるようにしておく。この交点を**原点**（origin）という。斜めに交わっていてもよいが，直角に交わっていたほうがずっと簡単な話になるため，とりあえずはそういう座標軸からはじめよう[†2]。こういう座標軸のセットを**直交座標系**（orthogonal coordinate system）という。

†1　ほかに，共通の座標系を用いない「内部参照座標系」による表現方法がある（⇒4章）。
†2　直角に交わらない場合については2章で扱う。

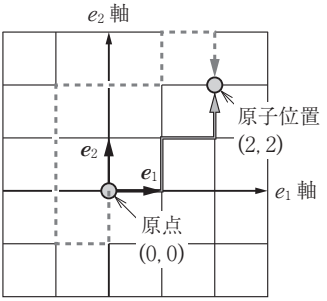


図 1.1　直交座標軸とその基底

ひと目盛の刻み幅も決めておく必要がある。長さの基準だから 1 m でも 1 cm でもよいが，分子の大きさを測るときには 1 Å（オングストローム；1 Å=10^{-10} m）というのも便利な単位としてよく使われる。座標軸の方向に伸びた単位長さの線分を移動単位として，任意の原子位置を原点からの（横移動回数 , 縦移動回数）のように表わせる。こうした線分を**基底**（basis）という。一つの基底を重ねていくだけではたどり着けない位置でも，複数の基底を組み合わせると必ずたどり着ける。ただし，どの基底を何回使うかという組合せは無限にあるので，なにかルールを決めないといけない。座標軸に正負の向きを定義して，正の方向に進んだら回数を加算，負の方向に進んだら減算するようにすれば，ある位置に対する表し方がただ一通りに決まる。図 1.1 では，どのルートをたどっても原子位置は (2, 2) と表記できる。

座標軸に名前をつけておくと便利である。二次元の場合は x 軸と y 軸，三次元の場合は x 軸，y 軸，z 軸と呼ぶことが多いが，必ずしもそうでなくてもよい。本書では e_1 軸，e_2 軸，e_3 軸と名づけ，場合によっては e_4 軸 , e_5 軸 ,…と続けていける可能性も残しておく。どの軸を e_1 軸と呼ぶかは自由に決めてよいが，正負の向きは統一しておかないといけない。三次元の場合，右手の親指，人差し指，中指をめいっぱい開いたときにそれぞれの指先の方向を e_1 軸，e_2 軸，e_3 軸の正の向きとするのが普通で，この向きにとった座標系を**右手系**（right-handed system）と呼ぶ。もちろん**左手系**（left-handed system）というのもあって，二つの座標系はちょうど右手と左手のように鏡写しの関係になる。

座標軸にあわせて，基底にも名前をつけておこう。これも決まりがあるわけではないが，e_1, e_2, e_3 軸上の基底をそれぞれ $\boldsymbol{e}_1, \boldsymbol{e}_2, \boldsymbol{e}_3$ のように書くことが多い。$\boldsymbol{e}$ を太字にしているのは，これがただの長さの単位ではなく，方向をもった単位だということを強調するためである。このように大きさと向きをもった量を**ベクトル**（vector）という。ベクトルの内容を表すために，縦長の括弧に数字を並べた記法がよく使われる。この書き方をベクトルの**成分表示**（component form）という（式 (1.1a–c)）。

$$\boldsymbol{e}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{e}_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{e}_3 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \tag{1.1a–c}$$

括弧の中は上から順に e_1, e_2, e_3 軸方向への移動を表している。大きさはどれも単位長さ（$=1$）であってもその方向が異なる，ということがこれでよくわかる。

ある原子が $(2, 3, -1)$，つまり原点から $\boldsymbol{e}_1$ の 2 個分，$\boldsymbol{e}_2$ の 3 個分，$\boldsymbol{e}_3$ の -1 個分の位置にあるとすると，その原子の位置 $\boldsymbol{x}$ は基底と成分の組合せで表すことができる。この書き方を基底の**線形結合**（linear combination）による**展開**（expansion）という（式 (1.2)）。

$$\boldsymbol{x} = 2\boldsymbol{e}_1 + 3\boldsymbol{e}_2 - 1\boldsymbol{e}_3 = 2\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + 3\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} - 1\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \tag{1.2}$$

式 (1.2) の後半はさらに成分ごとに加えて，一つの成分表示にしてもよい。

$$\boldsymbol{x} = \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 3 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \\ -1 \end{pmatrix} \tag{1.3}$$

式 (1.2)，(1.3) のように展開または成分表示で表せる $\boldsymbol{x}$ もまたベクトルという。すべての成分が 0 であるベクトルは零ベクトルといい $\boldsymbol{o}$ で表す。

問題 1.1　図 1.1 の原子位置を基底の線形結合による展開で表せ。

1.1.2　ベクトルの計算規則

一般化して書くなら，ベクトル $\boldsymbol{v}$ は，式 (1.4) のように 2 通りで表せる。

$$\boldsymbol{v} = v_1\boldsymbol{e}_1 + v_2\boldsymbol{e}_2 + v_3\boldsymbol{e}_3 = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} \tag{1.4}$$

ベクトル同士の加算では，対応する成分同士を足す。

$$\boldsymbol{v} + \boldsymbol{w} = (v_1 + w_1)\boldsymbol{e}_1 + (v_2 + w_2)\boldsymbol{e}_2 + (v_3 + w_3)\boldsymbol{e}_3 = \begin{pmatrix} v_1 + w_1 \\ v_2 + w_2 \\ v_3 + w_3 \end{pmatrix} \tag{1.5}$$

ベクトル同士の加算に関しては，式 (1.6a–c) の規則が成り立っている。

結合則：$(\boldsymbol{v} + \boldsymbol{w}) + \boldsymbol{x} = \boldsymbol{v} + (\boldsymbol{w} + \boldsymbol{x})$　(1.6a)

交換則：$\boldsymbol{v} + \boldsymbol{w} = \boldsymbol{w} + \boldsymbol{v}$　(1.6b)

零ベクトルの働き：$\boldsymbol{v} + \boldsymbol{o} = \boldsymbol{v}$　(1.6c)

c を定数（任意の実数）とするとき，c とベクトルとのかけ算は c と各成分とをかける。

$$c\boldsymbol{v} = cv_1\boldsymbol{e}_1 + cv_2\boldsymbol{e}_2 - cv_3\boldsymbol{e}_3 = \begin{pmatrix} cv_1 \\ cv_2 \\ cv_3 \end{pmatrix} = c\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} \tag{1.7}$$

式 (1.7) のような操作を以後**スカラー倍**（scalar multiplication）と呼ぶ。スカラー倍操作に関しては式 (1.8a–d) の規則が成り立つ。

分配則：$c(\boldsymbol{v} + \boldsymbol{w}) = c\boldsymbol{v} + c\boldsymbol{w}$,　$c\boldsymbol{v} + c'\boldsymbol{v} = (c + c')\boldsymbol{v}$　(1.8a, b)

結合則：$c'(c\boldsymbol{v}) + (c'c)\boldsymbol{v}$　(1.8c)

等倍（1 倍）スカラーの働き：$1\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}$　(1.8d)

式 (1.6a–c)，(1.8a–d) の性質を満たす $\boldsymbol{v}, \boldsymbol{w}, \cdots$ の集合を**線形空間**（linear space）という。

基底が「方向をもった単位」のような役割をするという点について，少し注意しておこう。以下，本書では単位の長さを 1 Å とするので，例えば 3 Å の長さを表したければ 3 単位分ということになる。もし単位の長さを 10 倍して

1 nm とするなら，同じく 3 Å の長さを表すには 0.3 単位分となるから，数値自体は 1/10 になる。単位長さを 10 000 倍にして 1 mm とするなら，3 Å は 0.000 3 単位分なので数値は 1/10 000 倍になる。このように単位を大きくすると数値が小さくなる関係がある一方で，その逆の場合がある。例えば速さを表すときに 1 m/s を単位長さとすれば，10 m/s は 10 単位分ということになるが，時間の単位を 3 600 倍して 1 m/h を単位長さとすれば，36 000 m/h となるので数値も 3 600 倍になる。これは，着目する単位が組立単位の中に 1 次で入っているか，−1 次で入っているかの違いによる。当然のことのようだが，2 章では案外重要になってくる。

問題 1.2　長さの単位が −1 次で入っている組立単位を挙げよ。

1.2　平面分子の並進と回転

1.2.1　分子の並進

まずは二次元空間を使ってベクトルに慣れることにしよう。水分子（H_2O）は 3 個の原子からできているので，すべての原子が乗るような平面を選ぶことができる。例えば，**図 1.2**（a）では，水分子 (A) の酸素原子を原点とし，二つの O–H 結合の二等分線に沿って e_1 軸を引き，一つの H 原子（2H）が e_1 軸，e_2 軸の正の側にくるように e_2 軸を引いた。

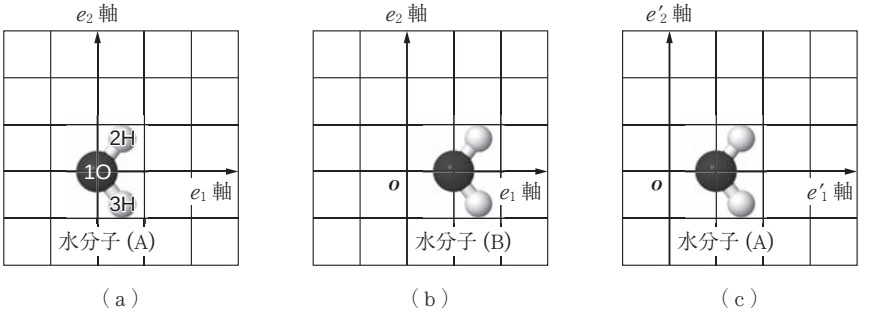


図 1.2　座標系における水分子の配置

索　　引

【あ】

アダマール積 192
アフィン 74
アフィン代数 76
アフィン変換 75

【い】

位　数 63
一意解 155
一般解 156
一般逆行列 151

【う】

運動エネルギー 90
運動量 90

【え】

永年方程式 186
エルミート行列 168

【お】

応　力 104

【か】

回映軸 66
階数（テンソル） 107
階数（行列） 107, 151
回　折 54
外　積 93
回　転 8
可　換 25
角運動量 93
拡　縮 41
角振動数 116
角速度 92
確　率 168
重なり積分 185
壁紙群 80
可約表現 69
慣性主値 97
慣性積 94
慣性テンソル 94
慣性モーメント 94
完全系 164

【き】

規格化 178
規格化定数 169
規格直交化 53
疑似逆行列 135
基準座標 119
基準振動 119
基　底 2
軌道エネルギー 182
逆行列 14
逆格子 54
逆格子ベクトル 54
既約表現 69
吸光度 129
鏡　映 18
鏡映面 63
共分散 133
共分散行列 133
共変ベクトル 57
共鳴積分 188
共役転置 165
行　列 8
行列式 32
寄与率 147
キラリティー 19
キラル 19

【く】

クロネッカー積 105
クロネッカーのデルタ 54
クーロン積分 188
群 63
群　論 61

【け】

計量テンソル 60
結合次数 191
結晶運動量 55
結晶格子 27
結晶波数 55
ケットベクトル 165
原　点 1

【こ】

交換相互作用 184
光　子 175
格子ベクトル 27
固有値 98
固有値分解 150
固有ベクトル 98

【さ】

最小二乗解 157
最小二乗法 134
ザイツの記法 76
座標軸 1

作用素 168
サラスの公式 33
三次元空間 1
三斜晶系 45

【し】

次元削減 145
自己無撞着場 187
事　象 168
質量加重座標 118
質量加重ヘッセ行列 118
指　標 68
射　影 45
斜交座標系 26
従　属 110
従属変数 134
主慣性モーメント 97
主成分 146
主成分得点 146
主成分負荷量 147
主成分分析 146
シュミット直交化 123
シュレディンガー方程式 180

【す】

随伴行列 168
スカラー積 50
スカラー倍 4
スレーター行列式 183

【せ】

正準直交化 123
成分表示 3
説明変数 134
線　形 24
線形空間 4
線形結合 3
線形性 24
線形変換 24, 47
センタリング 85
せん断 41

【そ】

相関係数 137
相似変換 58
双対基底 53
双対空間 53

【た】

ダイアモンド映進 89
対角化 101
対角行列 97
対称性 61
対称操作 62
対掌体 19
対称直交化 123
対称要素 63
多重線形回帰 138
多重線形空間 108
多変量解析 128
単位行列 10
単位格子 27
単位ダイアディック 163
単斜晶系 45
単純格子 84

【ち】

超関数 177
調和振動子 114
直　積 105
直　交 178
直交行列 100
直交座標系 1
直交変換 101

【て】

ディラックのデルタ関数 177
展　開 3
点　群 63
電　子 175
電子ポピュレーション 191
電子密度 191
テンソル 104
転　置 51
転置行列 51

【と】

特異値 152
特異値分解 152
特殊解 156
独　立 110
独立変数 134
ド・ブロイの式 178
トレース 51

【な】

内　積 50

【に】

二次元空間 1
二重スリット実験 175

【は】

排反事象 169
パウリの排他律 183
波動関数 178
ハートリー積 181
ハートリー・フォック理論 183
ハミルトン演算子 180
反　転 21
反変ベクトル 57

【ひ】

左手系 2
ヒュッケル近似 188
評価関数 134
表　現 69
表現行列 168
標準化 139

標準偏差 130

【ふ】

複合格子 84
フックの法則 114
物理量 168
不　定 156
不定方程式 156
部分行列 109
ブラケット記法 165
ブラッグの法則 54
ブラベクトル 165
プランク定数 178
フルランク 151
ブロック 109
分　散 130
分散共分散行列 133
分子軌道関数 182
分子軌道理論 181
分子動力学法 113
分子内振動 114
分子力学法 112
フントの規則 184
分率座標系 28

【へ】

平　均 130
平行軸の定理 95
並　進 6
ベクトル 3
ヘッセ行列 116
ベールの法則 129
偏　差 130

【ほ】

法線ベクトル 159
ポテンシャルエネルギー 114

【ま】

マリケン重なりポピュレーション 193
マリケン記号 69
マリケンポピュレーション 193

【み】

右手系 2
密度行列 192

【む】

ムーア・ペンローズ逆行列 151

【も】

目的変数 134
モード 119
モード剛性 120
モード質量 120
モル吸光係数 129

【ゆ】

ユニタリ行列 187
ユニタリ変換 187

【よ】

余　解 156

【ら】

ラグランジュの未定乗数法 185
らせん操作 88
ランク 107

【り】

立方晶系 36
量子化学 162
量子力学 162
菱面体晶系 38

【る】

類 72

【れ】

励起状態 195
連立一次方程式 154

【ろ】

六方晶系 45

【H】

HOMO 190

【L】

LCAO 184
LUMO 190

【Z】

Z-マトリクス 113

【その他】

2 回軸 63

——著 者 略 歴——

1998 年　東京工業大学大学院生命理工学研究科博士課程修了
　　博士（工学）
1998 年　工業技術院産業技術融合領域研究所技官
　　（2001 年の改組により産業技術総合研究所研究員）
2003 年　東京大学生産技術研究所講師
2009 年　東京大学生産技術研究所准教授
2021 年　東京大学環境安全研究センター（兼・生産技術研究所）教授
　　現在に至る

もう一歩先へ進みたい人の　化学でつかえる線形代数
Hurdling and Handling Linear Algebra in Chemistry:
for Those Taking a Step Forward

© Hirohiko Houjou 2025

2025 年 7 月 22 日　初版第 1 刷発行　★

検印省略

著　　者　北條博彦（ほうじょう ひろひこ）
発 行 者　株式会社　コロナ社
　　代 表 者　牛来真也
印 刷 所　新日本印刷株式会社
製 本 所　有限会社　愛千製本所

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　https://www.coronasha.co.jp

ISBN 978-4-339-06133-8　C3041　Printed in Japan　（田中）

JCOPY ＜出版者著作権管理機構 委託出版物＞
本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は，そのつど事前に，出版者著作権管理機構（電話 03-5244-5088，FAX 03-5244-5089，e-mail: info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。

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います。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いません。
落丁・乱丁はお取替えいたします。