ま　え　が　き

ベクトル解析は，電気系技術者にとって，多くの専門科目を学ぶ上で必要不可欠な科目である。特に，電磁気学（物理学の一分野）では，ベクトル量として取り扱われる物理量が頻繁に現れる。また，勾(こう)配（傾き），発散・湧(わ)き出し，回転などの概念も頻繁に必要となる。数学と物理学との違いは，物理学においては数値や数学記号などが，すべて物理的意味を持つという点にある。したがって，数学的手法を実際の物理量や物理現象と結びつけて理解しておくことが大切である。

本書は，「良い講義は教員と学生の共同作業で生まれる」という信念に基づいて行っている講義のレジュメ（講義要録）をベースとして書きあげた自信作である。レジュメは電気系学生に対してわかりやすい講義を行うことを目的に作成したものである。技術者にとって，数学は専門分野を理解するために，あるいは，研究するために必要なツールである。必要な場面で，必要な知識を使えなければ意味がない。そこで，数学的な厳密さよりも，電気系の技術者として“使える数学”を身につけることを主眼として執筆した。このため，できるだけ電気工学にかかわりの深い例題を取り上げて説明するとともに，随所に電磁気学との関連についても記述した。また，同様の観点から，位置ベクトルに関する演習を数多くとり入れた。

本書の大きな特徴は，講義に際して実施してきた長年にわたる学生とのQ&A（Question and Answer）を通じてつかんだ，学生のウイークポイントを熟知した上で執筆していることである。つまり，学生の立場に立って執筆した本である。このことは「過去のQ&Aから」や「アドバイスコーナー」を拾い読みしていただけばわかるだろう。学生からの質問に対する回答については，できるだけわかりやすくするため，イメージをつかみやすいように解説してある。い

ま，本書を手にとって立ち読みをしている学生の皆さん，ぜひ「過去の Q&A から」や「アドバイスコーナー」を読んでみていただきたい。皆さんが知りたかった内容がわかりやすく書かれているはずである。

なぜこのような本を執筆する気になったかについて，簡単に触れておきたい。筆者らは，ベクトル解析の講義を担当することになった 1999 年以来，受講者の立場に立ってわかりやすい講義を行うために，学生の意見や要望を積極的に取り入れるなど，種々の試みをしてきた。その一つが，学生の疑問や質問に答えるため，また，講義の聞き間違いなどによる誤解や勘違いを次回の講義で解消するために，毎回の講義終了後に実施してきた「Q&A の質問票」である。本来ならば，授業中に質問を受け付け，その場で回答するのがよいのだが，いまどきの学生はなかなか質問をしてくれない。そこで，考案したのがこの「Q&A」である。毎回，講義終了後に「質問票」を配布・回収し，次回の講義の際に，学生の疑問・質問に対する回答集をプリントにして配布した。本書に記載した「過去の Q&A から」や「アドバイスコーナー」は，8 年間にわたって蓄積した膨大な Q&A データの中から選んだ『珠玉』である。これらは，教える側の押し付けではなく，教わる側の率直な疑問に対して回答した事柄であるので，ベクトル解析を初めて学ぶ初心者にとっては，同世代の先輩からのたいへん心強いプレゼントといえる。ぜひ読んでみていただきたい。

本書は電磁気学を学ぶためのベクトル解析という位置づけであるが，電磁気学の教科書として本書と同じ趣旨で著者の一人が執筆した「要点がわかる電磁気学」（コロナ社）をあげておく。

最後に，本書の出版に当って，原稿の整理，製版，校正などでお世話になった，コロナ社の編集部の皆さんに，感謝の意を表します。問題解答例のチェック，誤字脱字のチェックなどに協力してくれた，大学院生の川上歩君，長浜大作君，片桐康男君に謝意を表します。

2007 年 2 月

丸山武男
石井　望

目　　次

1.　ベ　ク　ト　ル

1.1　ベクトルの代数 …… *1*

1.1.1　ベクトルの基本事項 …… *1*

1.1.2　ベクトルの代数演算 …… *6*

1.2　内 積 と 外 積 …… *7*

1.2.1　内　　積 …… *7*

1.2.2　外　　積 …… *11*

1.3　ベクトルの三重積 …… *18*

1.3.1　スカラー三重積 …… *18*

1.3.2　ベクトル三重積 …… *20*

章　末　問　題 …… *25*

2.　ベクトル関数の微分と積分

2.1　ベクトル関数の微分 …… *26*

2.2　ベクトル関数の積分 …… *33*

章　末　問　題 …… *38*

3.　勾配・発散・回転

3.1　勾　　配 …… *39*

3.2 発 散 …… 48
3.3 回 転 …… 56
章 末 問 題 …… 65

4. 線積分・面積分

4.1 空 間 曲 線 …… 66
4.2 線 積 分 …… 69
4.2.1 スカラー場の線積分 …… 69
4.2.2 ベクトル場の線積分 …… 72
4.3 曲 面 と 面 積 …… 74
4.4 面 積 分 …… 79
4.4.1 スカラー場の面積分 …… 79
4.4.2 ベクトル場の面積分 …… 81
4.5 体 積 分 …… 86
4.5.1 スカラー場の体積分 …… 86
4.5.2 ベクトル場の体積分 …… 87
章 末 問 題 …… 90

5. 積 分 定 理

5.1 ガウスの発散定理 …… 92
5.2 ストークスの定理 …… 101
章 末 問 題 …… 111

付 録 …… 112
A.1 行列式の展開 …… 112

A.2　内積と外積の物理的応用例 …… 117
A.3　スカラー関数の偏微分・全微分 …… 119
A.4　ベクトル関数の微分と積分のイメージ …… 121
A.5　勾配のイメージ …… 124
A.6　積分定理の数学的な証明 …… 127

公　　式 …… 131
引用・参考文献 …… 135
問　題　解　答 …… 136
索　　引 …… 173

1 ベクトル

力，速度，加速度をはじめとして，ベクトルによって記述される物理量は数多く存在する。**ベクトル**（vector）とは，大きさと向きの情報を持つ量で，力，速度，加速度などがその代表的な物理量であり，三次元空間において矢印を用いて表現されることが多い。矢印の長さがベクトルの大きさに，矢印の向きがベクトルの向きに対応する。これに対して，大きさのみの情報を持つ量を**スカラー**（scalar）といい，質量，長さ，時間などがその代表的な物理量である。本章では，ベクトルに関して基本事項を簡単に振り返ったのち，ベクトルの加減算，スカラー倍，内積，外積について述べる。さらに，物理計算においてよく現れるスカラー三重積ならびにベクトル三重積についても説明する。

1.1 ベクトルの代数

1.1.1 ベクトルの基本事項

本節では，ベクトルに関する基本事項を示す。以降，断りのない限り，直角座標系（xyz 座標系）を用いることにする。

(1) 基本ベクトル　x, y, z 軸の正の方向を向いた大きさが 1 のベクトルを x, y, z 軸に関する**基本ベクトル**（base vector）といい，$\boldsymbol{i}, \boldsymbol{j}, \boldsymbol{k}$ と表記する。$\boldsymbol{i}, \boldsymbol{j}, \boldsymbol{k}$ の大きさは 1 であるから，式 (1.1) の関係が成り立つ。

$$|\boldsymbol{i}| = |\boldsymbol{j}| = |\boldsymbol{k}| = 1 \tag{1.1}$$

(2) ベクトルの成分表示　図 **1.1** に示すように，ベクトル $\boldsymbol{A}$ は基本ベク

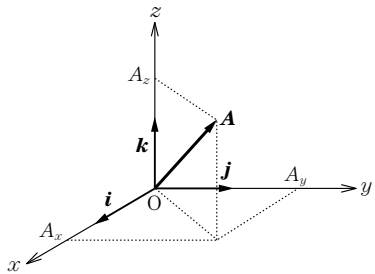


図 1.1　ベクトル $\boldsymbol{A}$ の成分表示

トル $\boldsymbol{i}$, $\boldsymbol{j}$, $\boldsymbol{k}$ を基底とする線形結合によって式 (1.2) のように表される。

$$\boldsymbol{A} = A_x\boldsymbol{i} + A_y\boldsymbol{j} + A_z\boldsymbol{k} \tag{1.2}$$

ここに，$\boldsymbol{i}$, $\boldsymbol{j}$, $\boldsymbol{k}$ の係数 A_x, A_y, A_z をベクトル $\boldsymbol{A}$ の x, y, z 成分という。

(3) 位置ベクトル　　**図 1.2** に示すように，始点を原点 O$(0,0,0)$ とし，終点を点 P(x,y,z) とするベクトル $\boldsymbol{r}$ を，点 P に関する**位置ベクトル**（position vector）といい，式 (1.3) のように表す。

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k} \tag{1.3}$$

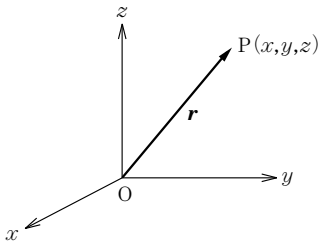


図 1.2　位置ベクトル $\boldsymbol{r}$

(4) ベクトルの表記　　本書では，太字 $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$, $\boldsymbol{C}$, $\boldsymbol{a}$, $\boldsymbol{b}$, $\boldsymbol{c}$ を用いてベクトルを表記する。細字の上に矢印を付けて表記し，$\vec{A}$, $\vec{B}$, $\vec{C}$, $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ としても間違いではないが，太字で表記することを強く勧める。また，ベクトル $\boldsymbol{A}$ の大きさは，式 (1.4) のように，単に細字で表記するか，太字に絶対値記号を付けて表記するかのいずれかでよい。

$$A = |\boldsymbol{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \tag{1.4}$$

（**5**） **ベクトルの相等**　**図 1.3** に示すように，$\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$ の大きさが等しく，平行であるとき，$\boldsymbol{A}$ と $\boldsymbol{B}$ は等しいといい，式 (1.5) で表す。

$$\boldsymbol{A} = \boldsymbol{B} \quad \Leftrightarrow \quad |\boldsymbol{A}| = |\boldsymbol{B}|,\ \boldsymbol{A} /\!/ \boldsymbol{B} \tag{1.5}$$

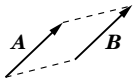


図 1.3　ベクトルの相等

また，$\boldsymbol{A} = A_x\boldsymbol{i} + A_y\boldsymbol{j} + A_z\boldsymbol{k}$, $\boldsymbol{B} = B_x\boldsymbol{i} + B_y\boldsymbol{j} + B_z\boldsymbol{k}$ において，各成分が等しいとき，$\boldsymbol{A}$ と $\boldsymbol{B}$ は等しく，式 (1.6) で表す。

$$\boldsymbol{A} = \boldsymbol{B} \quad \Leftrightarrow \quad A_x = B_x,\ A_y = B_y,\ A_z = B_z \tag{1.6}$$

（**6**） **零ベクトル**　大きさが 0 のベクトルを**零**（ぜろ）**ベクトル**（zero vector）といい，太字の $\boldsymbol{0}$ で表す。$\boldsymbol{A} = A_x\boldsymbol{i} + A_y\boldsymbol{j} + A_z\boldsymbol{k}$ において，各成分が 0 に等しいとき，$\boldsymbol{A}$ は零ベクトルであり，式 (1.7) で表す。

$$\boldsymbol{A} = \boldsymbol{0} \quad \Leftrightarrow \quad A_x = 0,\ A_y = 0,\ A_z = 0 \tag{1.7}$$

【注意】 零ベクトルは，向きは定義されないが，必ず太字 $\boldsymbol{0}$ で表記しなければならない。細字 0 で表記してはいけない。

（**7**） **単位ベクトル**　大きさが 1 のベクトルを**単位ベクトル**（unit vector）という。ベクトル $\boldsymbol{A} = A_x\boldsymbol{i} + A_y\boldsymbol{j} + A_z\boldsymbol{k}$ が単位ベクトルであるとき

$$A = |\boldsymbol{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} = 1 \tag{1.8}$$

の関係が成り立つ。また，ベクトル $\boldsymbol{A}$ の向きにおける単位ベクトル $\boldsymbol{a}_A$ は

$$\boldsymbol{a}_A = \frac{\boldsymbol{A}}{|\boldsymbol{A}|} \tag{1.9}$$

によって与えられる。

（例） $\boldsymbol{A} = \boldsymbol{i} + \boldsymbol{j} + \boldsymbol{k}$ は，$A = |\boldsymbol{A}| = \sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2} = \sqrt{3} \neq 1$ となるので，単位ベクトルではない。

(8) 方向余弦　図 **1.4** に示すように，$\boldsymbol{A} = A_x\boldsymbol{i} + A_y\boldsymbol{j} + A_z\boldsymbol{k}$ が x, y, z 軸となす角をそれぞれ α, β, γ とするとき，$\cos\alpha$, $\cos\beta$, $\cos\gamma$ を $\boldsymbol{A}$ の**方向余弦**（direction cosine）という。ベクトル $\boldsymbol{A}$ の各成分と方向余弦の間には式 (1.10) の関係が成り立つ。

$$A_x = A\cos\alpha, \quad A_y = A\cos\beta, \quad A_z = A\cos\gamma \tag{1.10}$$

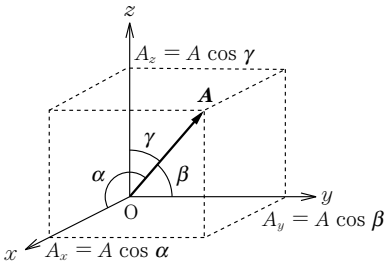


図 **1.4**　ベクトル $\boldsymbol{A}$ の方向余弦

例題 1.1　$\boldsymbol{A} = \boldsymbol{i} + 2\boldsymbol{j} + 3\boldsymbol{k}$ に対して，(1) 大きさ $A = |\boldsymbol{A}|$, (2) 方向余弦を計算せよ。

【解答】 (1)　$A = |\boldsymbol{A}| = \sqrt{1^2 + 2^2 + 3^2} = \sqrt{14}$

(2)　$\cos\alpha = \dfrac{A_x}{A} = \dfrac{1}{\sqrt{14}}$,　$\cos\beta = \dfrac{A_y}{A} = \dfrac{2}{\sqrt{14}}$,　$\cos\gamma = \dfrac{A_z}{A} = \dfrac{3}{\sqrt{14}}$　◇

問 1.1　$\cos\alpha$, $\cos\beta$, $\cos\gamma$ が方向余弦であるとき，$\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$ が成り立つことを示せ。

過去の Q&A から

Q1.1: 右手系と左手系の違いがわからない。

A1.1: x 軸の正の部分が y 軸の正の部分に重なるように右回りに回転したとき，右ねじの進む方向を z 軸の正方向と決めた座標系を右手系（right–handed system）という。x 軸の正の部分が y 軸の正の部分に重なるように左回りに回転したとき，左ねじの進む方向を z 軸の正方向と決めた座標系を左手系（left–handed system）という。

Q1.2: 大きさ $|\boldsymbol{A}|$ とノルム $\|\boldsymbol{A}\|$ の違いがわからない。

A1.2: 同じもので，線形代数では $\|\boldsymbol{A}\|$，ベクトル解析では $|\boldsymbol{A}|$ を使用する。

Q1.3: 零ベクトルは向きがないのになぜベクトルなのか。

A1.3: 零ベクトルはベクトルの演算がベクトルの世界で閉じるようにするために取り入れられている。例えば，$\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{A}=\boldsymbol{0}$ のように用いる。外積の定義から明らかなように，$\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{A}$ の大きさは 0 であるが，これを $\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{A}=0$ と書いてしまうと，左辺はベクトルであるのに対して，右辺はスカラーの 0 となり，等号で結ぶわけにはいかない。そこで，零ベクトル $\boldsymbol{0}$ を導入したというわけである。

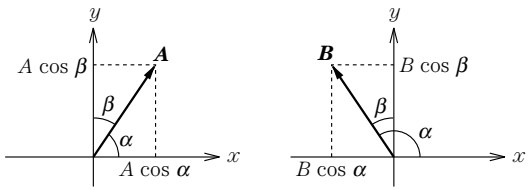
Q1.4: 単位ベクトルの計算の仕方がわからない。

A1.4: 単位ベクトルの意味をしっかり理解しよう。単位ベクトルとは大きさ 1 のベクトルである。したがって，ベクトル $\boldsymbol{A}$ の向きの単位ベクトル $\boldsymbol{a}_A$ は，$\boldsymbol{A}$ にその大きさ $A=|\boldsymbol{A}|$ の逆数を乗じることで得られる。すなわち，$\boldsymbol{a}_A=(1/A)\boldsymbol{A}=\boldsymbol{A}/A$ となる。これが基本で，あとは応用である。

Q1.5: 方向余弦の定義がわからない。方向余弦は負値となるのか。

A1.5: **〔方向余弦の定義〕** 図 1.4 で $\boldsymbol{A}$ が x,y,z 軸の正方向となす角をそれぞれ α,β,γ とすると，$A_x=A\cos\alpha, A_y=A\cos\beta, A_z=A\cos\gamma$ である。そこで，$l=\cos\alpha, m=\cos\beta, n=\cos\gamma$ とおくとき，これらの組 (l,m,n) をベクトル $\boldsymbol{A}$ の方向余弦という。$l=A_x/A, m=A_y/A, n=A_z/A$ であるから，ベクトルの成分が与えられると方向余弦が決定する。

〔方向余弦の正負〕 理解を容易にするため，2 次元で説明する。**図 1.5**(a) で $\boldsymbol{A}$ は第 1 象限のベクトルであるから，α,β は共に鋭角であって，$\cos\alpha>0$, $\cos\beta>0$ となる。図 (b) で $\boldsymbol{B}$ は第 2 象限のベクトルであるから，α は鈍角，β は鋭角であって，$\cos\alpha<0$, $\cos\beta>0$ となる。すなわち，$\boldsymbol{B}$ の x 成分 $B\cos\alpha$ は負値となる。



(a) 方向余弦が正となる場合　　(b) 方向余弦が負となる場合

図 1.5 方向余弦の正負

1.1.2　ベクトルの代数演算

(1)　ベクトルのスカラー倍　$\boldsymbol{A}$ をベクトル，p をスカラーとするとき，ベクトルのスカラー倍 $p\boldsymbol{A}$ をつぎのように定義する。

- $p > 0$ のとき，$\boldsymbol{A}$ と同方向で，大きさを $p|\boldsymbol{A}|$ とする。
- $p < 0$ のとき，$\boldsymbol{A}$ と逆方向で，大きさを $|p||\boldsymbol{A}|$ とする。
- $p = 0$ のとき，零ベクトル $\boldsymbol{0}$ とする。すなわち，$(0)\boldsymbol{A} = \boldsymbol{0}$ となる。

$p = -1$ のとき，$(-1)\boldsymbol{A} = -\boldsymbol{A}$ を $\boldsymbol{A}$ の逆ベクトルという（**図 1.6** 参照）。

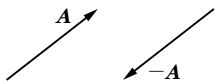


図 1.6　逆ベクトル $-\boldsymbol{A}$

また，$\boldsymbol{A} = A_x\boldsymbol{i} + A_y\boldsymbol{j} + A_z\boldsymbol{k}$ のとき，$p\boldsymbol{A}$ は $\boldsymbol{A}$ の各成分を p 倍することで与えられ，式 (1.11) で表される。

$$p\boldsymbol{A} = p(A_x\boldsymbol{i} + A_y\boldsymbol{j} + A_z\boldsymbol{k}) = (pA_x)\boldsymbol{i} + (pA_y)\boldsymbol{j} + (pA_z)\boldsymbol{k} \qquad (1.11)$$

(2)　ベクトルの和・差　二つのベクトル $\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}$ から**平行四辺形の規則** (law of parallelogram) によって得られるベクトルを $\boldsymbol{A}$ と $\boldsymbol{B}$ の**和**といい，$\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B}$ と書く。具体的には，**図 1.7** に示すように，$\boldsymbol{A}$ の終点に $\boldsymbol{B}$ の始点が一致するように $\boldsymbol{B}$ を平行移動させたとき，$\boldsymbol{A}$ の始点 O から平行移動後の $\boldsymbol{B}$ の終点までのベクトルが $\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B}$ に対応する。ベクトルの**差** $\boldsymbol{A} - \boldsymbol{B}$ は，図に示すように，$\boldsymbol{A} - \boldsymbol{B} = \boldsymbol{A} + (-\boldsymbol{B})$ と考え，$\boldsymbol{A}$ と $(-\boldsymbol{B})$ の和として平行四辺形の規則によって得られる。また，$\boldsymbol{A} = A_x\boldsymbol{i} + A_y\boldsymbol{j} + A_z\boldsymbol{k}$, $\boldsymbol{B} = B_x\boldsymbol{i} + B_y\boldsymbol{j} + B_z\boldsymbol{k}$ のとき，$\boldsymbol{A} \pm \boldsymbol{B}$ は $\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}$ の各成分の和もしくは差によって与えられ，式 (1.12) で表される。

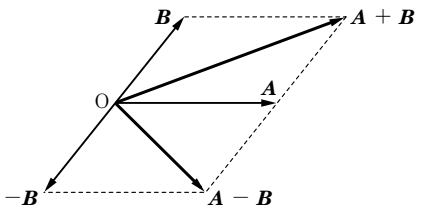


図 1.7　ベクトルの和・差

索　　引

【あ】

アンペアの周回路の法則 *109*

【い】

一次従属 *19*
一次独立 *20*
位置ベクトル *2*

【う】

渦 *59*

【え】

円運動 *30*

【か】

外　積 *11, 62*
　——の成分表示 *13*
　——の反交換則 *15*
回　転 *56, 62, 103*
　——の意味 *59, 101*
　——の行列式表示 *56*
ガウス
　——の積分 *98*
　——の発散定理*87, 95, 127*
　——の法則 *84, 100*
角運動量 *13, 118*
角速度 *24*
角速度ベクトル *13, 119*

【き】

基本ベクトル *1*
逆ベクトル *6*
行列式 *112*
　——の性質 *112*
曲　面 *74*
　——の方程式 *74*

【く】

空間曲線 *66*
　——の方程式 *67*
グリーン
　——の第一定理 *111*
　——の第二定理 *111*

【け】

径　路 *70*
　——の選び方 *107*
　——の向き *70, 101*
　——の連結 *70*

【こ】

高階導関数 *30*
勾　配 *40*
　合成関数の—— *41*
　——の意味 *124*
弧　長 *68*

【さ】

三重積分 *86*

【し】

磁気双極子モーメント *25*
磁束密度 *62*
循　環 *60, 105*
小行列式 *114*
常ら旋 *68*

【す】

スカラー *1*
スカラー関数 *26*
スカラー三重積 *18*
　——の成分表示 *19*
スカラー積 *7*
スカラー場 *39*
　——の方向微分係数 *42*
スカラーポテンシャル *40, 62*
ストークスの定理
82, 104, 129

【せ】

正射影 *8, 10, 11, 80, 82, 128, 130*
正射影ベクトル *11*
静電界 *42, 50, 52, 58, 62, 84, 100, 107*
接単位ベクトル *32, 68, 72*
接平面 *75*
接ベクトル *28, 67*
零ベクトル *3*
線形性 *41, 47, 49, 58*
線積分 *70, 72, 73, 88*
線　素 *70*
線素ベクトル *72*
全微分 *30, 45, 120*

【そ】

双極子モーメント *117*

【た】

体積素 *86*
体積分 *86, 88*
単位ベクトル *3*

【ち】

力の作用による仕事 *10, 117*
力のモーメント *13, 118*
置換積分 *37*
調和関数 *54*
直交条件 *8*

【て】

定積分 *35, 69, 92*
定ベクトル *26*
デル演算子 *40*
電　位 *42, 44, 45, 54, 62, 107*
電気双極子 *117*
電気力線 *52*
電束密度 *82, 84, 100*

【と】

等圧線 *44*
等位面 *44, 124*
導関数 *28*
等高線 *44*
等電位面 *44, 45*
トルク *13, 24, 118*

【な】

内　積 *7, 54*
　——の成分表示 *8*
ナブラ演算子 *40*

【に】

二重積分 *75, 79*

【は】

発　散 *48, 55, 95*
　——の意味 *51, 93*
ハミルトニアン *40*
ハミルトン演算子 *40*

【ひ】

微　分 *30*

【ふ】

不定積分 *33*
部分積分 *37*

【へ】

平行四辺形
　——の規則 *6*
　——の面積 *13*
平行条件 *12*
平行六面体の体積 *18*
ベクトル *1*
　——の大きさ *2*
　——の成分表示 *1*
　——の表記 *2*
ベクトル関数 *26*
ベクトル三重積 *20*
ベクトル積 *11*
ベクトル場 *39*
ベクトルポテンシャル *62*
偏微分 *30, 119*

【ほ】

ポアソンの方程式 *54*
方向微分係数 *42, 126*
方向余弦 *4*
法単位ベクトル *75*
　——の向き *92*
保存場 *58, 107*
ホドグラフ *28*

【め】

面積分 *80, 81, 88*
面積ベクトル *13, 17*
面　素 *75, 79*
面素ベクトル *76*

【よ】

余因子 *114*
余因子展開 *115*

【ら】

ラグランジェの恒等式 *13*
ラプラシアン *53*
ラプラス演算子 *53*
ラプラスの方程式 *53*

【り】

流　線 *50*
　——の数 *51*
流　量 *50, 97*

【C】

curl *56*

【D】

divergence *48*

【G】

gradient *40*

【L】

Laplacian *53*

【N】

nabla *40*

【R】

rotation *56*

【U】

u 曲線 *74*

【V】

v 曲線 *74*

—— 著 者 略 歴 ——

丸山武男（まるやま　たけお）
1965 年　新潟大学工学部電気工学科卒業
1965 年　新潟大学助手
1974 年　新潟大学講師
1977 年　新潟大学助教授
1979 年　工学博士（名古屋大学）
1989 年　新潟大学教授
2008 年　新潟大学名誉教授

石井　望（いしい　のぞむ）
1989 年　北海道大学工学部電子工学科卒業
1991 年　北海道大学大学院工学研究科修士課程修了（電子工学専攻）
1991 年　北海道大学助手
1996 年　博士（工学）（北海道大学）
1998 年　新潟大学助教授
2007 年　新潟大学准教授
現在に至る

要点がわかるベクトル解析
Elementary Vector Analysis

© Takeo Maruyama, Nozomu Ishii 2007

2007 年 4 月 25 日　初版第 1 刷発行　★
2011 年 4 月 20 日　初版第 5 刷発行

検印省略

著　者　丸山武男
　　石井望
発行者　株式会社　コロナ社
　　代表者　牛来真也
印刷所　三美印刷株式会社

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 978–4–339–06093–5　（横尾）（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