# ま　え　が　き

本書は，はじめて電気について学ぶ方，および産業界のあらゆる分野で電気に関する業務に関わる方に，「電気の基礎」について理解を深めていただくために執筆した。

本書の編集に際し，特に配慮したのはつぎの点である。

（1）　内容を精選し，わかりやすい平易な説明を行った。

（2）　図，写真を豊富に使い理解を深めるようにした。また，例題，問を多くし，具体的に知識を習得できるようにした。

（3）　重要な公式には，タイトルをつけるとともに網掛けにして強調した。

（4）　重要な専門用語は太字にして強調するとともに，技術の国際化を考慮し，英語表記を側注につけた。

（5）　節末，章末には「節末問題」「章末問題」を設け，理解の徹底が図られるようにした。

（6）　章末には「学習のポイント」を設けて，その章で学んだことを一覧できるようにした。

（7）　専門用語と図記号は，文部科学省編「学術用語集 電気工学編」およびJISによることを原則とした。また，単位は国際単位系（SI）を用いた。

（8）　本書では，単位の表し方について，つぎのように定めた。

・$V$，$I$などの量記号や$\pi$など数字以外の記号のあとに単位をつける場合は，$V$〔V〕，$I$〔A〕，$\pi$〔rad〕のように，〔　　〕をつける。

・2，3などの数値のあとに単位をつける場合は，2 V，3 Aのように，〔　　〕をつけない。

（9）　本書では，単位の接頭語（k，m，μなど）の使い方は，つぎのように定めた。

・JIS「国際単位系（SI）及びその使い方」に準じる。

・ただし，慣用的に接頭語が使われている単位だけに使用する。

（例：24 μF，50 kV，$8.5\times10^{-7}$ Wb）

・設問中では原則として接頭語をつけずに問うが，解答例には必要に応じて適切な接頭語をつける。

(10)　本書では，計算値や実験値は近似値でも原則として“＝”を用いて表した。

本書の内容につき，宇都宮和美，佐武哲也，白石大蔵，中藤良一，西山浩介，桝本哲史，吉羽清美の各氏より貴重なご意見をいただいた。お礼を申し上げる。

本書を活用して，多くの方が「電気の基礎」をマスターされ，さらに，電気系の各種国家試験や資格試験を目指す皆さんにも，有効に活用いただければ幸いです。

2013 年 10 月

著　　者

# 目　次

## 1章　直　流　回　路


1.1 電流と電圧
1　電　気　回　路 …… 2
2　電　子　と　電　流 …… 4
3　オームの法則 …… 7
節　末　問　題 …… 10

1.2 直流回路の計算
1　直　列　回　路 …… 11
2　並　列　回　路 …… 12
3　直　並　列　接　続 …… 15
4　応　用　回　路 …… 16
5　キルヒホッフの法則 …… 20
節　末　問　題 …… 24

1.3 抵抗の性質
1　抵抗率と導電率 …… 26
2　抵抗温度係数 …… 27
3　抵　抗　器 …… 29
節　末　問　題 …… 30

1.4 電力とジュール熱
1　電力と電力量 …… 31
2　ジュールの法則 …… 32
3　電線の許容電流 …… 34
節　末　問　題 …… 34

1.5 電流の化学作用と電池
1　電　気　分　解 …… 35
2　ファラデーの法則 …… 36
3　電　池 …… 37
4　熱　電　現　象 …… 40
節　末　問　題 …… 41

学習のポイント …… 42
章　末　問　題 …… 44

## 2章 電流と磁気


2.1 磁気
1 磁気現象 …… 48
2 磁界 …… 50
節末問題 …… 55

2.2 電流の磁気作用
1 アンペアの右ねじの法則 …… 56
2 電流と磁界 …… 58
3 磁気回路 …… 61
4 鉄の磁化 …… 63
節末問題 …… 64

2.3 磁界中の電流に働く力
1 電磁力 …… 66
2 直流電動機の原理 …… 70
節末問題 …… 72

2.4 電磁誘導作用
1 ファラデーの法則 …… 73
2 フレミングの右手の法則 …… 75
3 誘導起電力の大きさ …… 77
4 渦電流 …… 79
5 インダクタンス …… 79
6 電磁誘導の応用 …… 82
節末問題 …… 84

学習のポイント …… 85
章末問題 …… 88


## 3章 静電気


3.1 静電現象
1 摩擦電気 …… 90
2 静電誘導 …… 91
3 静電遮へい …… 91
4 静電気に関するクーロンの法則 …… 92
5 電界 …… 94
6 電束と電束密度 …… 97

節　末　問　題 …… 98

3.2
**コンデンサと静電容量**

1　コ ン デ ン サ …… 100
2　コンデンサの接続 …… 101
3　コンデンサに蓄えられる静電エネルギー …… 106
4　コンデンサの種類と用途 …… 106
節　末　問　題 …… 107

**学習のポイント** …… 108
**章　末　問　題** …… 109

**4 章　交　流　回　路**

4.1
**正弦波交流の性質**

1　正弦波交流の発生 …… 112
2　平均値と実効値 …… 114
3　角　周　波　数 …… 115
4　位 相 と 位 相 差 …… 117
節　末　問　題 …… 118

4.2
**交流回路の取り扱い方**

1　正弦波交流のベクトル表示 …… 119
2　抵抗 $R$ だけの回路 …… 121
3　インダクタンス $L$ だけの回路 …… 122
4　静電容量 $C$ だけの回路 …… 124
5　$R$-$L$ 直 列 回 路 …… 126
6　$R$-$C$ 直 列 回 路 …… 129
7　$R$-$L$-$C$ 直列回路 …… 131
8　$R$-$L$-$C$ 並列回路 …… 133
9　直 列 共 振 回 路 …… 135
10　並 列 共 振 回 路 …… 136
節　末　問　題 …… 138

4.3
**交流回路の電力**

1　交　流　電　力 …… 139
2　皮相電力と力率 …… 139
節　末　問　題 …… 141

4.4
**複　素　数**

1　複素数の四則演算 …… 142
2　複素数の極座標表示 …… 143
3　複素数のベクトル表示 …… 144
4　複素数の乗除と極座標表示 …… 145
節　末　問　題 …… 147

4.5
**記号法による交流回路の取り扱い**

1　抵抗 $R$ だけの回路 …… 148
2　インダクタンス $L$ だけの回路 …… 149
3　静電容量 $C$ だけの回路 …… 150
4　$R$-$L$-$C$ 直列回路 …… 151
節　末　問　題 …… 153

4.6
**三　相　交　流**

1　三相交流回路 …… 154
2　三相交流の発生と表し方 …… 154
3　三相交流回路の電圧と電流 …… 156
4　Y　結　線 …… 156
5　Δ　結　線 …… 158
6　負荷インピーダンスの Δ－Y 変換 …… 159
節　末　問　題 …… 160

**学習のポイント** …… 161
**章　末　問　題** …… 163

**5 章　各種の波形**

5.1
**非正弦波交流**

1　非正弦波交流の種類 …… 166
2　正弦波交流の合成と非正弦波交流 …… 167
3　非正弦波交流の実効値 …… 168
4　非正弦波交流のひずみの程度の表し方 …… 169
節　末　問　題 …… 170

5.2
過 渡 現 象

1 電気回路の過渡現象 …… 172
2 *R*-*C* 直列回路の過渡現象 …… 172
3 *R*-*L* 直列回路の過渡現象 …… 174
4 パルス回路の波形 …… 175
節 末 問 題 …… 177

学習のポイント …… 178
章 末 問 題 …… 179

6 章 電 気 計 測

6.1
電気計測の基礎

1 直 流 の 測 定 …… 182
2 交 流 の 測 定 …… 183
3 いろいろな指示電気計器 …… 185
4 ディジタル計器 …… 186
節 末 問 題 …… 187

6.2
基礎量の測定

1 抵 抗 の 測 定 …… 188
2 インダクタンス・静電容量の測定 …… 189
3 電力と電力量の測定 …… 191
4 ディジタル周波数計 …… 193
5 オシロスコープ …… 193
節 末 問 題 …… 195

6.3
測定量の取り扱い

1 測定の誤差とその種類 …… 196
2 精 度 と 感 度 …… 197
3 測 定 の 基 準 …… 197
節 末 問 題 …… 198

学習のポイント …… 199
章 末 問 題 …… 200

**付　　録** …… 201
1. 本書に出てくるおもな図記号 …… 201
2. ギリシャ文字 …… 201
3. 国際単位系（SI） …… 202
4. 抵抗器の表示記号 …… 203
5. 本書で用いるおもな量記号と単位記号 …… 204
**問題の解答** …… 206
**索　　引** …… 211

# 1章

# 直流回路

私たちの生活を快適で豊かにしているものの一つに電気があり，なくてはならないものとなっている。

この電気には，もち運びが容易な乾電池や携帯電話のバッテリーなどの直流と，家庭のコンセントなどで利用している交流がある。

本章では，これまで学んできた電気の知識を整理しながら，直流回路における電圧と電流の関係，回路の計算方法，抵抗の性質，電流のいろいろな作用など電気の基礎について学ぶ。

（東海道新幹線）


1.1　電流と電圧
1.2　直流回路の計算
1.3　抵抗の性質
1.4　電力とジュール熱
1.5　電流の化学作用と電池

# 1.1 電流と電圧

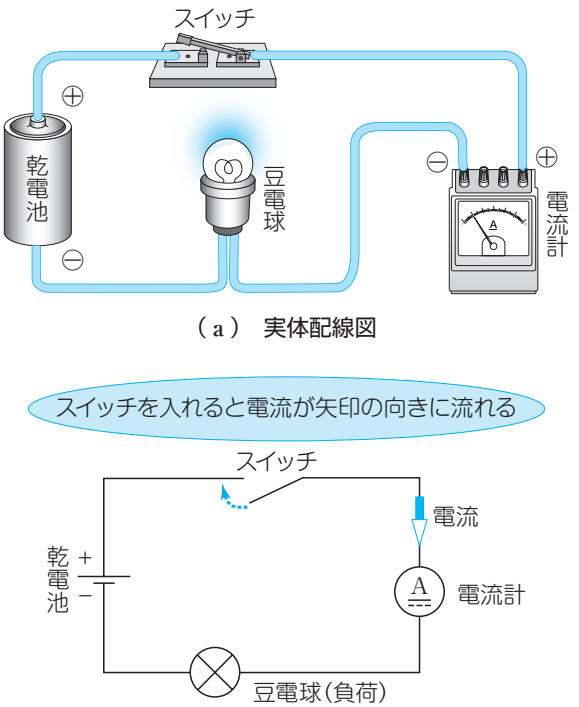
電気回路に電流が流れるという現象から，電気の学習の基礎になる電流，電圧，抵抗などの考え方，そして回路計算の基本であるオームの法則について学ぶ。

## 1 電気回路

### 1 電気回路図

†1 electric circuit

電気が流れる通路を**電気回路**[†1]という。**図 1.1** のように，乾電池，スイッチ，豆電球を電線（導線）で接続し，スイッチを入れると，乾電池の正極（＋極）から負極（－極）に向かって電流が流れ，豆電球が光る。




（a） 実体配線図

（b） 電気回路図

**図 1.1** 電気回路

†2 power source

†3 load

乾電池のように，電気エネルギーを供給するものを**電源**[†2]という。また，電球のように，電気エネルギーを光や熱などの他のエネルギーに変換するものを**負荷**[†3]という。

図 1.1（a）は実際の配線（実体配線図）である。これを書くことはかえって複雑になるため，図（b）のように電気用図記号[†1]を用いて表している。

†1 JIS C 0617－1：2011 ～ JIS C 0617－13：2011 により定められている。

## 2 直流と交流

電気にはつぎのような 2 種類がある。乾電池の電流は，図 1.2（a）のように，時間の経過に対して，大きさと向きが一定である。このような電流を**直流**[†2]（DC）という。

†2 direct current

また，私たちが家庭で利用しているコンセントから得られる電流は，図 1.2（b）のように，時間の経過に対して，大きさと向きが周期的に変化する。このような電流を**交流**[†3]（AC）という。

†3 alternating current

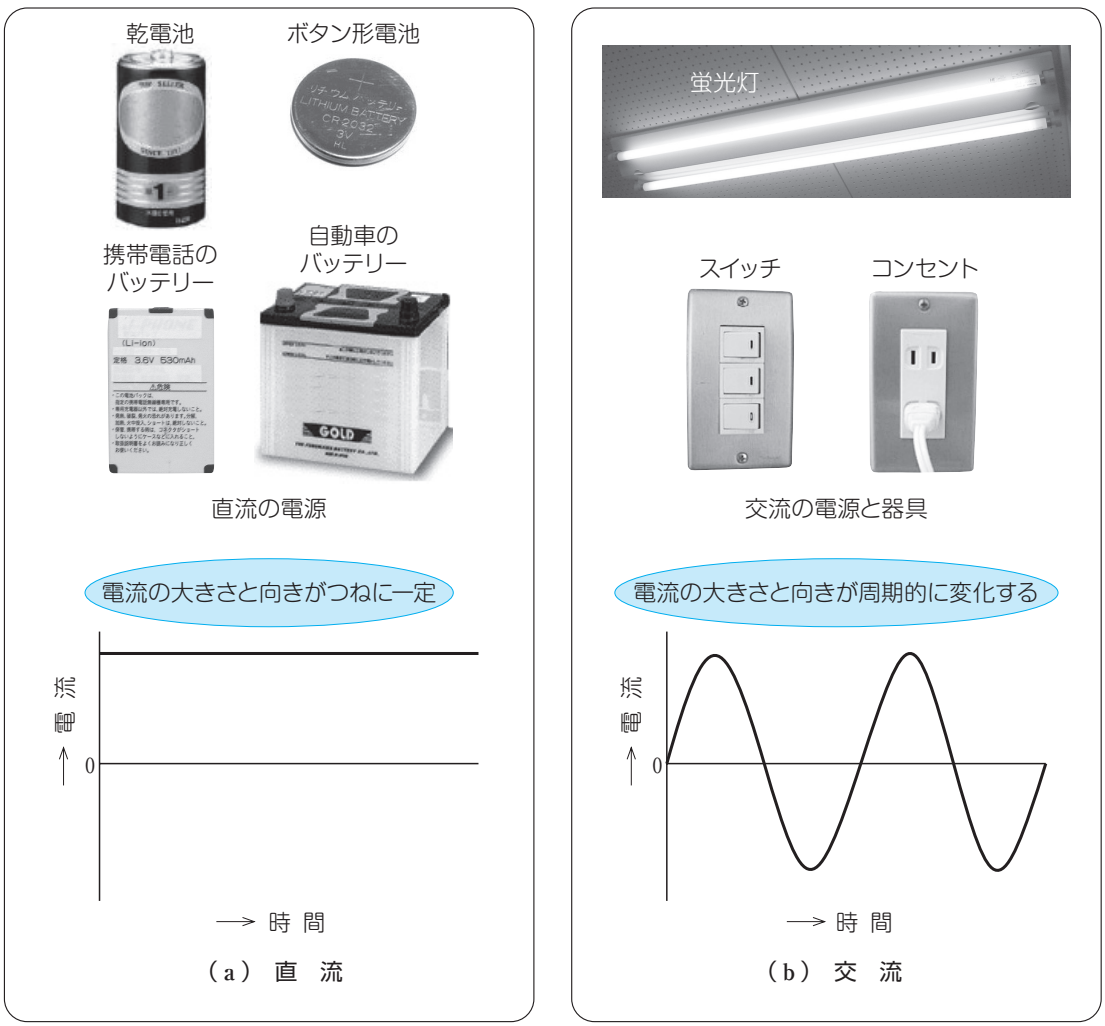



図 1.2 電気の種類

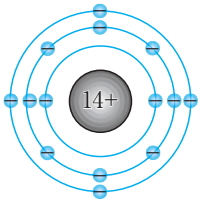



図 1.3　シリコン(Si)原子の模型

# 2　電子と電流

## 1　自由電子と電流

電流が流れるという現象は，物質の原子構造に大きく関係している。原子は，図 1.3 のように，正の電気（+）をもつ原子核と，その周りにあり負の電気（−）をもつ**電子**[†1]で構成されている。

†1 electron

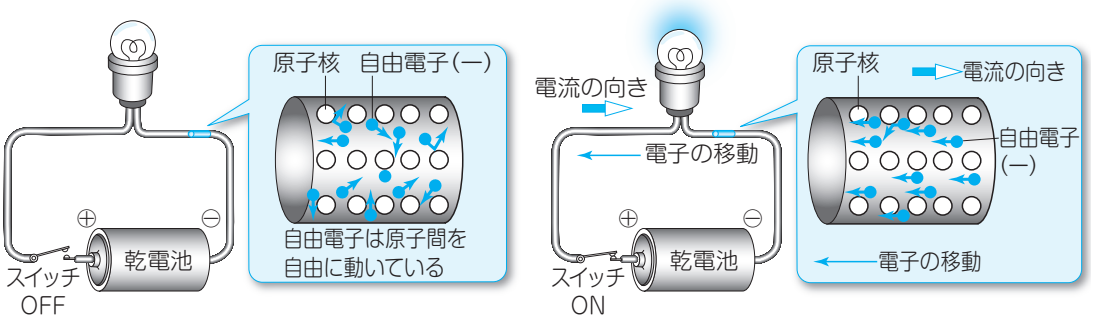
金属などの物質は，外部から刺激を受けることによって，電子が原子核から離れて自由に動き回る。このような電子を**自由電子**[†2]といい，これが電流の流れのもとになっている。

†2 free electron

自由電子が多く存在する物質に，図 1.4 のように乾電池を接続すると，自由電子は，乾電池の正極（+極）に向かって移動する。乾電池の負極（−極）からは連続して電子が供給されるため，電子の流れが持続される。

この電子の流れを**電流**[†3]という。電流の向きは，正の**電荷**[†4]の流れる向きと定められているため，電子の流れと電流の向きは逆になっている。

†3 current
†4 electric charge
物質が帯びている電気の量。電気現象を起こすもとになる。




（a）　スイッチを開いた場合　　（b）　スイッチを閉じた場合

図 1.4　自由電子の移動と電流の向き

## 2　導体，絶縁体，半導体

金属のような自由電子の多い物質は，電子の移動が容易であるので電流が流れやすい。このような物質を**導体**[†5]という。

†5 conductor

一方，ビニル，プラスチック，ゴム，ガラスなどは，自由電子がほとんどなく，電流が流れにくいため，**絶縁体**[†6]または**不導体**という。

†6 insulating material

また，電子部品の材料となっているシリコンやゲルマニウムなどは，電流の流れやすさが導体と絶縁体の中間の性質を示す。このような物質を**半導体**[†7]という。

†7 semiconductor

## 3 電流の大きさ

電流の大きさは，物質の断面を 1 秒間に通過する電荷で表される。量記号に $I$，単位に**アンペア**[†1]（単位記号 A）を用いる。

また，電荷は量記号に $Q$，単位に**クーロン**[†2]（単位記号 C）を用いる。

電線のある断面を $t$ 秒間に $Q$〔C〕の電荷が移動するとき，電流 $I$〔A〕はつぎの式で表される。

（電流の大きさ）　$$I=\frac{Q}{t}\ \text{〔A〕} \qquad (1.1)$$

†1 ampere

†2 coulomb

**例題 1**

ある電線の断面を 3 秒間に 6 C の電荷が移動したとき，電流の大きさ $I$〔A〕を求めなさい。

**解答**　式 (1.1) から

$$I=\frac{Q}{t}=\frac{6}{3}=\underline{2\ \text{A}}$$

**問 1**　ある導体の断面に 0.2 A の電流が 5 秒間流れた。このとき移動した電荷 $Q$〔C〕を求めなさい。

**問 2**　ある導体の断面を 2 分間に 240 C の電荷が移動したとき，電流の大きさ $I$〔A〕を求めなさい。

## 4 電位，電圧，起電力

**図 1.5** のように，電気回路において，電流は**電位**[†3]の高いほうから低いほうへ流れる。この電位の差を**電位差**[†4]または**電圧**[†5]といい，電流を流そうとする働きでもある。量記号に $V$，単位に**ボルト**[†6]（単位記号 V）を用いる。

†3 electric potential
電流は水の流れに似ている。水は水位の高いところから低いところへ流れ，この水位に相当するものが「電位」である。

†4 potential difference

†5 voltage

†6 volt

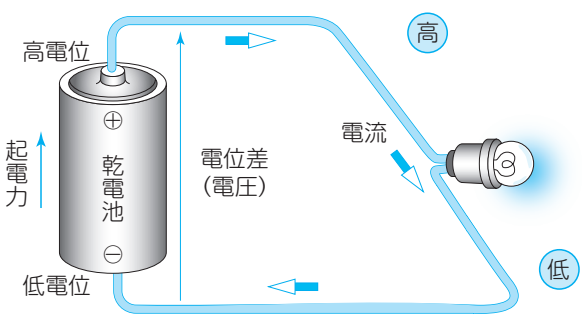



**図 1.5**　起電力と電位差

†1 electromotive force

乾電池は，内部の化学作用によって電圧を保っており，電流を流し続けることができる。この働きを**起電力**[†1]といい，単位は電圧と同じボルト〔V〕を用いる。

**電位差の向きの表し方**　電位差の向きは，**図 1.6** のように，電位の高いほうへ矢印をつけて表す。

†2 earth

**アース（接地）**　電位の基準は，大地（地球）とすることが多く，これを**アース**[†2]または**接地**という（大地を 0 V としている）。

図記号

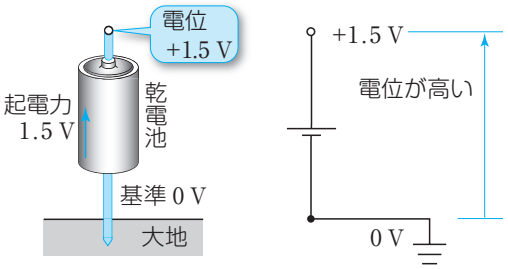


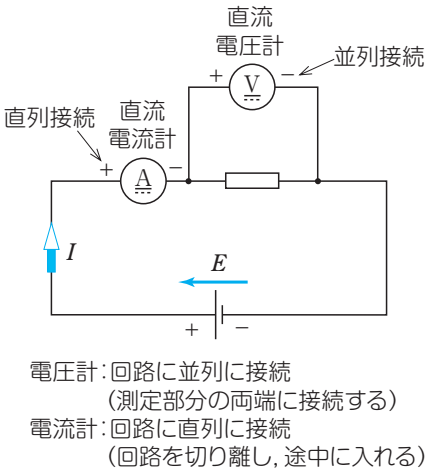

**図 1.6**　基準電位と電位

### 電圧計，電流計の接続方法

電気回路実験などにおいて，電圧や電流を測定するには，電圧計や電流計を使用する。これらの計器には直流用と交流用があるので注意が必要である。

**図 1.7** に電圧計，電流計の接続方法を示す。直流用計器は，＋，－端子（極性）に注意する。電位が高いほうに＋端子，低いほうに－端子を接続する。

（a）　実際の配線




（b）　回　路

**図 1.7**　電圧計，電流計の接続方法

# 索　引


## あ

アース…… 6
アドミタンス…… 133
アナログ計器…… 186
アナログ量…… 186
アンペア…… 5
　――の右ねじの法則…… 57
アンペア毎メートル…… 50

## い

位　相…… 117
位相角…… 117
位相差…… 117
一次電池…… 37
インピーダンス…… 127
インピーダンス三角形…… 127

## う

ウェーバ…… 48
渦電流…… 79
渦電流損…… 79

## え

永久磁石可動コイル形計器…… 182

## お

オシロスコープ…… 193
オーム…… 7
　――の法則…… 8
オームメートル…… 26

## か

回路計…… 188
角周波数…… 116
角速度…… 116
可動鉄片形計器…… 183
過渡期間…… 172
過渡現象…… 172
可変抵抗器…… 29
乾電池…… 37
感　度…… 197

## き

記号法…… 148
起磁力…… 61
奇数調波…… 167
起電力…… 6
吸引力…… 48
共振周波数…… 135
共役複素数…… 142
極座標表示…… 143
虚　数…… 142
虚数単位…… 142
虚　部…… 142
許容電流…… 34
キルヒホッフの法則…… 20

## く

偶数調波…… 167
クーロン…… 5
クーロンの法則
　磁気に関する――…… 49
　静電気に関する――…… 92
クーロン毎平方メートル…… 97

## こ

合成抵抗…… 12
合成リアクタンス…… 131
高調波…… 167
交　流…… 3
誤　差…… 196
誤差百分率…… 196
誤差率…… 196
固定抵抗器…… 29
弧度法…… 115
コンデンサ…… 100

## さ

最大値…… 112
サーミスタ…… 27
三角結線…… 158
残留磁気…… 64

## し

磁　化…… 50
磁　界…… 50
　――の強さ…… 50
磁化曲線…… 63
磁気回路…… 61
磁気現象…… 48
磁気抵抗…… 61
磁気に関するクーロンの法則…… 49
磁気誘導…… 50
磁　極…… 48
磁気力…… 48
自己インダクタンス…… 80
自己誘導…… 79
自己誘導起電力…… 79
磁　性…… 48
磁性体…… 63
磁　束…… 54
磁束密度…… 54
実効値…… 114
実　部…… 142
時定数…… 173
ジーメンス…… 133
ジーメンス毎メートル…… 26
周　期…… 113
充　電…… 37
自由電子…… 4
周波数…… 113
ジュール…… 32
ジュール熱…… 33
純虚数…… 142
瞬時値…… 112
衝撃係数…… 175
商用周波数…… 113
磁　力…… 48
磁力線…… 53
磁　路…… 61
真空の誘電率…… 92
真の値…… 196

## せ

静電エネルギー……106
静電気……90
　――に関するクーロンの法則　92
静電現象……90
静電遮へい……92
静電誘導……91
静電容量……100
静電力……92
精　度……197
整流形計器……184
積分回路……176
絶縁体……4
絶対値……143
接　地……6
ゼーベック効果……40
線間電圧……156
線電流……156

## そ

相互インダクタンス……82
相　順……155
相電圧……156
相電流……156
測定値……196

## た

対称三相交流……154
帯電現象……90
太陽電池……39
立上り時間……176
立下り時間……176

## ち

遅延時間……176
直並列接続……15
直　流……3
直流電動機……70
直流発電機……83
直列共振……135
直列接続……11
直列抵抗器……17
　――の倍率……18

## て

抵　抗……7
抵抗温度係数……27
抵抗器……29
抵抗率……26
ディジタルオシロスコープ……195
ディジタル計器……186
ディジタル周波数計……193
ディジタル量……186
定常状態……172
テスタ……188
テスラ……54
鉄　損……79
電　圧……5
電圧降下……9
電　位……5
電位差……5
電　荷……4
電　界……94
電解液……35
電解質……35
電気回路……2
電気抵抗……7
電気分解……35
　――に関するファラデーの法則…36
電気力線……96
電　源……2
電　子……4
電磁エネルギー……81
電子電圧計……184
電磁誘導……73
　――に関するファラデーの法則…73
電磁力……67
電子冷却……41
電　束……97
電束密度……97
電　離……35
電　流……4
電　力……31, 139
電力計……191
電力量……31
電力量計……192

## と

等価回路……12
透磁率……49
同　相……117
導　体……4
導電率……26
トルク……70

## な

内部抵抗……17, 20
鉛蓄電池……38

## に

二次電池……37
ニュートンメートル……70

## ね

熱起電力……40
熱電対……40
燃料電池……39

## は

配線用遮断器……34
倍率器……17
波形率……169
波高率……169
初位相……117
初位相角……117
バール……140
パルス……175
パルス幅……175
半固定抵抗器……29
半導体……4
万能ブリッジ……191
反発力……48

## ひ

ヒステリシス曲線……63
ヒステリシス損……64
ひずみ……166
ひずみ波交流……166
ひずみ率……169
非正弦波交流……166
皮相電力……139
比透磁率……61
微分回路……176
比誘電率……93
ヒューズ……34
標準器……197
標準抵抗器……197
標準電圧発生器……198
標準電池……197
平等電界……95

## ふ

ファラデーの法則
　電気分解に関する――……36
　電磁誘導に関する――……73
ファラド……100

負　荷…… 2
複素インピーダンス…… 148
複素数…… 142
複素平面…… 143
不導体…… 4
ブリッジ回路…… 16
フレミング
　――の左手の法則…… 67
　――の右手の法則…… 76
分流器…… 18
　――の倍率…… 19

へ

平均値…… 114
平　衡…… 16
平衡三相負荷…… 156
並列共振…… 137
並列接続…… 12
ベクトル…… 119
ペルチエ効果…… 41
変圧器…… 83
偏　角…… 143
ヘンリー……80, 82
ヘンリー毎メートル…… 49

ほ

ホイートストンブリッジ…… 16
方形パルス…… 175
放　電…… 37
星形結線…… 156
保磁力…… 64
ボルト…… 5
ボルトアンペア…… 139
ボルト毎メートル…… 94

ま

毎ヘンリー…… 61
摩擦電気…… 90

む

無効電力…… 140
無効率…… 140

ゆ

有効電力…… 139
誘電体…… 100
誘電率…… 93
誘導起電力…… 73
誘導性…… 131
誘導電圧…… 73
誘導電流…… 73
誘導リアクタンス…… 122

よ

容量性…… 131
容量リアクタンス…… 124

り

リアクタンス…… 131
力　率…… 140
リサジュー図形…… 195

れ

レンツの法則…… 74

わ

ワット…… 31

Δ

Δ 結線…… 156
Δ－Δ 結線 …… 158

B

BH 曲線 …… 63

N

N　極 …… 48

S

S　極 …… 48

Y

Y 結線…… 156
Y－Y 結線 …… 156

他

＋　極…… 48
－　極…… 48

**写真協力**：海老崎功，（株）ニッケテクノシステム，三和電気計器（株），日産自動車（株），パナソニック溶接システム（株），横河電機（株），横河メータ＆インスツルメンツ（株）

**図でよくわかる電気基礎**
©高橋，安部，近藤，山本，安西，柴田，中岡，藤塚，渡会，コロナ社　2013

2013年12月27日　初版第1刷発行

著作者　高橋寛
安部則男
近藤有三
山本忠幸
安西治
柴田和直
中岡由紀
藤塚雄治
渡会功

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

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 978-4-339-00861-6　（柏原）　（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