

推薦のことば

日本の教育が、自ら学び自ら考える力などの「生きる力」の育成を実現させようとした「ゆとり教育の実質的開始」となって10年が経過しました。いま、臨床工学技士を目指して大学や専門学校など専門課程で学ぶ学生は、このゆとり教育のまっただ中で教育を受けてきた世代です。一方、臨床工学技士をはじめとする医療系国家資格に関しては「国家試験合格」がそのスタートであり、医療技術の進歩に伴い学ぶ事柄は年々増えています。つまり、専門課程の入学時から卒業時の国家試験受験時までには学ばなければならないことが、昔に比べてはるかに多くなってきています。裏を返せば、専門課程の教員も従来の知識や常識のままの教育方法では不十分であるといえます。専門課程の教員は、臨床工学を目指す学生の大半が電子工学などの電気を基礎とした分野に苦手意識をもっていることを前提に、高校で「科目」として学んでいない学生にこれらの科目を学ばせ、国家試験合格まで導いていくという使命を負っています。臨床工学の専門課程で学ぶこれらの工学系科目が臨床現場にそのままの形で使われる機会は少ないですが、「オームの法則」ひとつとっても、人体の生理学的現象やベッドサイドでの電気的現象につながる基礎であり、医療の現場で唯一工学的基礎を体系的に学んでいる臨床工学技士は、そのセンスを披露して患者の安全に寄与できる存在として活躍することが期待されています。

本書は臨床工学技士国家試験・第2種ME技術実力検定試験対策に特化した構成となっています。特に上述した学生が苦手とする、言い換えれば教育側が教えるにくい分野をピックアップし、これまで出版された解説集などとは違った切り口で臨床につながる工学の基礎を徹底解説した書であるといえます。また、本書は2002年の学習指導要綱改訂の冒頭にある「基礎・基本を確実に身に付けさせ」という目的や、仲田先生がモットーとされている、臨床現場で自ら考え、答えを導く力を養うために「工学に興味を持つ」心を満たす書だと思えます。

最後に、臨床工学技士国家試験・第2種ME技術実力検定試験を目標とし、国家試験合格にかなう実力を身に付けるためにも、学生や指導者にとって学習効果を高める一助になる書と確信し、本書推薦のことばに代えさせていただきます。

2012年1月

杏林大学 中島章夫

は し が き

本書は、臨床工学技士国家試験（以下、国家試験）および、第2種ME技術実力検定試験（以下、第2種ME）対策のための本である。本書では、専門書のような詳細な説明や数学的に厳密な説明はしていないが、国家試験および第2種MEの電気分野における、国家試験では15年分の、第2種MEでは12年分の過去問題のなかから、厳選された合計約210問の問題を掲載し、試験に十分対応できるような内容になっている。

各章では、最初に試験に必要な知識をまとめる形で、特に電気を初めて学ぶ学生にも理解できるようにていねいに説明した。次に「問題演習」で過去出題された問題を掲載し、問題文には、国家試験の年度と出題された問題番号を「9回-午後-問題9」のように示し、また、第2種MEの出題の場合には「ME29回-午前-問題33」のように示した。また、「(改)」を付けた問題は、試験問題の一部を筆者がアレンジしたものである。さらに、難問や要注意問題にはヒントとして、問題文の直後に簡単に解説した。

本書では、イメージをつかむための図を多用した。説明に使う数学は、国家試験に出る数学プラスアルファ程度とし、本文中の [] の内容は、難しいようであれば読みとばしても構わない。

問題演習では「正しいのはどれか」などの問いに対して「正解を選んだだけ」で終わってはならない。どこが間違っており、どのように書き換えれば正しい文章になるかを考える訓練を欠かしてはならない。

筆者は講義のとき、学生に以下のことを実践するよう薦めている。実践した学生の多くが毎年試験に合格しているので、読者の皆さんもぜひ試していただければと思う。

- ・ 授業の復習を当日中および数日中に繰り返しやれば、確実に実力がつく。
- ・ 15分考えても理解できないことがあったら質問すること。質問は恥ではない。
- ・ 自分が他人より能力が劣ると思ったら、他人の5倍繰り返し勉強すること。
- ・ 長時間連続の勉強は害あって益なし。1時間勉強したら10分の気分転換の

時間を設けることを薦める。私はこれを「1時間10分の法則」と名付けている。

- ・「記憶の定着」および「脳の活性化」に有効であるといわれている方法の一部を紹介しよう。記憶力が弱ってきたなと思ったら、ただちに実行することを薦める。

「憶えたら、すぐ寝よ」「朝起きたら、憶え直せ」「スルメなどのかたい食べ物をよく噛め」「面接などで緊張する前、または勉強の前に、ココアを飲むかチョコレートを食べよ」。

臨床工学技士国家試験に合格しても、そこで勉強が終わるわけではない。合格は単なるスタートでしかない。そこからが本当の勉強であり、研さんである。将来、定年を迎え、臨床工学技士としての最後の仕事において有終の美を飾るまでは「未熟」である。国家試験は「用意された答え」の中から「正答」を選ぶものばかりである。しかし、現場に出たら答えは用意されていない。自ら考え、信頼のおける先輩の助言、書籍、辞書、論文誌などから、クランケ（患者）に適應する対処法・処置法を考え、医師の了解・指示を受けなければならない。本書により電気分野の理解が深まり、専門書を読み、確実な知識を得ようと思えるようになったら「しめたもの」である。臨床工学技士としての知識や技量が飛躍的に高まれば、私としては、このうえない喜びである。

夢を持っても実現するのは一部である。しかし、Never give up your dreams.

本書の出版にあたり、製品の性能などの情報提供をしていただいた多数の医療機器・電子部品・測定器製作会社、浜松ホトニクス株式会社、生体組織の導電率に関する論文誌（Phys. Med. Biol. など）を紹介して下さった北里大学教授の野城真理先生、有益なご指摘・ご指導をいただいた杏林大学准教授の中島章夫先生および東北学院大学准教授の熊谷正朗先生、浜松医療センター付属診療所の菅野敏彦氏、財団法人規格協会の山口進一氏、コロナ社の協力に深く感謝申し上げます。今後は、本書の質を高める作業、理解を深める実験の開発など、私の持てる情熱と能力のすべてを尽くし、その恩に報いたいと思う。

2012年1月

仲田昭彦

目 次

1. 電流 I , 電圧 V , 抵抗 R , オームの法則, 電力 P

| | |
|---|----|
| 1.1 電流 I , 電圧 V , 抵抗 R , オームの法則, 電力 P | 1 |
| 1.2 電流 I の定義..... | 1 |
| 1.3 電池の内部抵抗..... | 2 |
| 1.4 抵抗の接続..... | 3 |
| 1.5 抵抗率..... | 4 |
| 1.6 キルヒホッフの法則..... | 6 |
| 1.7 検流計とホイートストンブリッジ..... | 9 |
| 1.8 電気分解..... | 10 |
| 1.9 電池の種類..... | 11 |
| 問題演習..... | 11 |

2. 電気計測器

| | |
|------------------------------|----|
| 2.1 テスタ..... | 20 |
| 2.2 オシロスコープ..... | 20 |
| 2.3 電流計, 内部抵抗, 分流器, 倍率器..... | 20 |
| 2.4 アナログ型テスタの盲点..... | 22 |
| 問題演習..... | 23 |

3. 磁気・磁界・電磁力・電磁誘導

| | |
|----------------------|----|
| 3.1 三角関数の基本と辺の比..... | 25 |
| 3.2 三角関数の定義と応用..... | 26 |

| | |
|-----------------------------|----|
| 3.3 三角関数 (sin, cos) のグラフ | 26 |
| 3.4 磁気に関するクーロンの法則 | 28 |
| 3.5 磁性体 (磁石) のまわりの磁界 | 28 |
| 3.6 強磁性体による磁気シールド効果 | 29 |
| 3.7 電磁シールド | 30 |
| 3.8 磁 界 H | 31 |
| 3.9 磁界 H と磁束密度 B | 31 |
| 3.10 直線電流のまわりの磁界 | 32 |
| 3.11 コイルの中心の磁界 | 32 |
| 3.12 ソレノイド内部の一様な磁界 | 33 |
| 3.13 電流が受ける力……フレミングの左手の法則 | 33 |
| 3.14 電磁誘導, 起電力……フレミングの右手の法則 | 34 |
| 3.15 コイル内の磁束 | 35 |
| 3.16 渦 電 流 | 37 |
| 問 題 演 習 | 38 |

4. 静 電 気

| | |
|---------------------------|----|
| 4.1 静電気に関するクーロンの法則 | 46 |
| 4.2 帯電体のまわりの電界 | 46 |
| 4.3 等電位線と電気力線 | 48 |
| 4.4 静 電 誘 導 | 48 |
| 4.5 誘 電 分 極 | 48 |
| 4.6 電界 E , 電圧 (電位差) V | 49 |
| 問 題 演 習 | 50 |

5. コ ン デ ン サ

| | |
|------------------------|----|
| 5.1 コ ン デ ン サ | 55 |
| 5.2 コンデンサの接続 (直列・並列合成) | 56 |

| | | |
|-----|---|----|
| 5.3 | コンデンサの容量 C , 誘電率 ϵ , 比誘電率 ϵ_r | 57 |
| 5.4 | コンデンサのエネルギー E_C | 57 |
| | 問 題 演 習..... | 58 |

6. 交 流

| | | |
|--------|---|----|
| 6.1 | 交流の3大要素..... | 65 |
| 6.2 | 交流の実効値について.....実験的に導く..... | 65 |
| 6.3 | 交流の実効値について.....理論的に導く..... | 66 |
| 6.4 | 交流の電圧, 電流の位相のずれ.....実験的に導く..... | 67 |
| 6.5 | RLC のインピーダンス Z | 68 |
| 6.6 | RLC 直列および並列回路のベクトル表示による インピーダンス Z の計算, 位相の遅進, 共振周波数..... | 69 |
| 6.7 | RLC 直列および並列回路の複素数表示による インピーダンス Z の計算..... | 71 |
| 6.8 | 変圧器 (トランス)..... | 74 |
| 6.9 | 電 力..... | 74 |
| 6.10 | ソレノイドの自己インダクタンス L を表す式..... | 75 |
| 6.11 | インピーダンス整合 (インピーダンスマッチング)..... | 76 |
| 6.11.1 | インピーダンス整合が必要な第一の理由..... | 76 |
| 6.11.2 | インピーダンス整合が必要な第二の理由..... | 76 |
| 6.11.3 | 電圧反射係数の解釈..... | 77 |
| 6.11.4 | インピーダンスの違いによる反射を利用した医療機器..... | 77 |
| 6.11.5 | マッチングトランス.....無損失の理想的な変圧器..... | 77 |
| | 問 題 演 習..... | 79 |

7. 各種素子および各種計測器

| | | |
|-------|----------------------------------|----|
| 7.1 | 各種検出素子, 超音波, 受動素子 (RLC)..... | 90 |
| 7.1.1 | サーミスタ..... | 90 |
| 7.1.2 | 圧電素子..... | 91 |

| | | |
|-------|-------------------|----|
| 7.1.3 | 焦電素子 | 91 |
| 7.1.4 | CCD イメージセンサ | 91 |
| 7.2 | 各種の効果と応用 | 91 |
| 7.2.1 | 光電効果 | 91 |
| 7.2.2 | ホール効果 | 93 |
| 7.2.3 | 光電子増倍管の構造と電子増幅の機構 | 94 |
| 7.2.4 | シンチレーションカウンタの原理 | 95 |
| 7.2.5 | ペルチェ効果 | 95 |
| 7.2.6 | ゼーベック効果 | 96 |
| 7.2.7 | ジョセフソン効果 | 96 |
| 7.2.8 | ジュール=トムソン効果 | 96 |
| | 問題演習 | 97 |

8. トランジスタ・ダイオード・FET

| | | |
|-------|--|-----|
| 8.1 | 能動素子 | 101 |
| 8.2 | 半導体……特に不純物半導体 | 101 |
| 8.2.1 | 電気の通しやすさから見た物質の分類 | 101 |
| 8.2.2 | 不純物半導体の結晶構造……基本的な周期表から | 102 |
| 8.2.3 | 原子核, 電子軌道 | 102 |
| 8.2.4 | 価電子 | 103 |
| 8.2.5 | 不純物半導体 | 104 |
| 8.2.6 | PN 接合整流素子 | 105 |
| 8.2.7 | PNP 形・NPN 形トランジスタ | 106 |
| 8.2.8 | FET (field effect transistor : 電界効果トランジスタ) | 108 |
| 8.3 | ダイオードを含む回路・整流回路・平滑回路 | 112 |
| 8.3.1 | 半波整流回路 | 112 |
| 8.3.2 | 全波(両波)整流回路(例1: センタータップトランス回路) | 112 |
| 8.3.3 | 全波(両波)整流回路(例2: ブリッジ整流回路) | 113 |
| 8.3.4 | リップル率 | 114 |
| 8.3.5 | 基本的な電圧安定化電源回路 | 115 |
| 8.3.6 | トランジスタの基本増幅回路 | 115 |
| 8.4 | 負荷線 | 119 |

| | |
|--------------|-----|
| 8.5 出力波形のひずみ | 121 |
| 問 題 演 習 | 123 |

9. RC・RL 直列回路の過渡現象

| | |
|---|-----|
| 9.1 RC 回路（微分回路，積分回路）の時定数 | 133 |
| 9.1.1 例1：下降曲線1，微分回路における抵抗の両端の電圧変化 | 133 |
| 9.1.2 例2：下降曲線2，積分回路におけるコンデンサの両端の電圧変化 | 134 |
| 9.1.3 例3：上昇曲線1，積分回路におけるコンデンサの両端の電圧変化 | 135 |
| 9.1.4 例4：上昇曲線2，微分回路における抵抗の両端の電圧変化 | 136 |
| 9.2 上昇・下降曲線の微分方程式による説明 | 140 |
| 9.3 LR 回路の時定数 | 143 |
| 9.4 遮断周波数（カットオフ周波数） | 144 |
| 9.5 遮断周波数 $1/(2\pi CR)$ ，70%や-3 dB を決める方法 | 145 |
| 9.6 微分回路，積分回路と呼ばれる理由 | 148 |
| 9.6.1 微 分 回 路 | 148 |
| 9.6.2 積 分 回 路 | 151 |
| 問 題 演 習 | 155 |

10. オペアンプ

| | |
|-------------------------------|-----|
| 10.1 オペアンプとは | 168 |
| 10.2 オペアンプの特性 | 168 |
| 10.3 各回路の性質，出力，増幅率 | 169 |
| 10.3.1 反転増幅回路 | 169 |
| 10.3.2 非反転増幅回路 | 171 |
| 10.3.3 差動増幅回路（差動入力形減算回路） | 171 |
| 10.3.4 微 分 回 路 | 172 |
| 10.3.5 積 分 回 路 | 173 |
| 10.3.6 加 算 回 路 | 173 |
| 10.4 入力インピーダンス Z_i に関する補足事項 | 174 |

| | | |
|---|-----------------------------------|-----|
| 10.4.1 | 反転増幅器 | 174 |
| 10.4.2 | 交流結合の反転増幅器 | 174 |
| 10.4.3 | 非反転増幅器 | 175 |
| 10.4.4 | ボルテージフォロウ | 175 |
| 10.4.5 | 差動増幅器 | 176 |
| | 問題演習 | 177 |
| | | |
| 11. 電力・電圧などの dB 単位, SN 比, 同相除去比 (CMRR) | | |
| 11.1 | 電力, 音の強さ, 電圧・電流, 信号と雑音の SN 比などの記号 | 184 |
| 11.1.1 | 電力増幅率 | 185 |
| 11.1.2 | エネルギーを観点とした音の強さの SN 比 | 185 |
| 11.1.3 | 音圧を観点とした音圧レベル | 186 |
| 11.1.4 | 電圧増幅率 | 186 |
| 11.1.5 | 電流増幅率 | 186 |
| 11.1.6 | 信号対雑音比 | 186 |
| 11.2 | SN 比の詳細と同相除去比 (CMRR) | 186 |
| 11.2.1 | 雑音の種類 | 187 |
| 11.2.2 | 生体信号の SN 比 | 187 |
| 11.3 | 入力換算雑音 | 187 |
| 11.4 | 同相信号と逆相信号 | 189 |
| 11.4.1 | 同相信号の差動増幅 | 190 |
| 11.4.2 | 逆相信号の差動増幅 | 191 |
| 11.5 | CMRR (同相除去比) | 191 |
| 11.5.1 | 問題解法上の参考事項 1: ホワイトノイズ | 192 |
| 11.5.2 | 問題解法上の参考事項 2: 量子化雑音 | 193 |
| 11.5.3 | 問題解法上の参考事項 3: アナログ-デジタル変換 | 194 |
| 11.5.4 | 問題解法上の参考事項 4: 2 進法 | 194 |
| 11.5.5 | 問題解法上の参考事項 5: スルーレート | 195 |
| 11.5.6 | 問題解法上の参考事項 6: 加算平均法 | 196 |
| | 問題演習 | 199 |

12. 正帰還, 負帰還, 発振, 変調, 復調

| | |
|--|-----|
| 12.1 正 帰 還 | 207 |
| 12.2 負 帰 還 | 208 |
| 12.3 発振とは……身のまわりにある「発振」から考える | 209 |
| 12.4 変 調・復 調 | 210 |
| 12.4.1 振幅変調 (amplitude modulation : AM) | 210 |
| 12.4.2 周波数変調 (frequency modulation : FM) | 211 |
| 12.4.3 アナログ位相変調 (phase modulation : PM) | 212 |
| 12.4.4 PAM, PFM, PPM, PWM, PCM | 213 |
| 12.5 搬送波と側波帯 | 214 |
| 12.6 振幅変調の数学的解析 | 216 |
| 問 題 演 習 | 217 |
| | |
| 参 考 文 献 | 221 |
| 索 引 | 223 |

1 章

電流 I , 電圧 V , 抵抗 R , オームの法則, 電力 P

1.1 電流 I , 電圧 V , 抵抗 R , オームの法則, 電力 P

図 1.1 のように, 抵抗 R を流れる電流 I と R の両端の電圧は

$$V=RI$$

の関係がある。ここで, それぞれの単位は, V [V],
 R [Ω], I [A] である。

電力 P [W] (ワット) とは, 1 秒当りの消費電力・
仕事を表し, 式 (1.1) で求められる。

$$P=VI=RI^2=\frac{V^2}{R} \quad [\text{W}] \quad (1.1)$$

一方, 電力量 W [J] (ジュール) とは, t 秒間に消費する電力・仕事量であり, 式 (1.2) で求められる。

$$W=Pt=VIt=RI^2t=\frac{V^2}{R}t \quad [\text{J}] \quad (1.2)$$

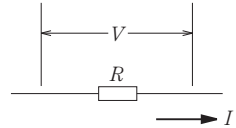


図 1.1

1.2 電流 I の定義

図 1.2 のように, 任意の導体の断面を, t [s] 間に Q [C] の電気が流れたとすると

$$Q=It \quad \text{または} \quad I=\frac{Q}{t} \quad (1.3)$$

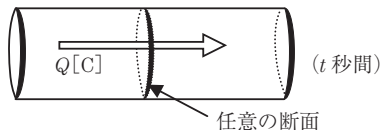


図 1.2

2 1. 電流 I , 電圧 V , 抵抗 R , オームの法則, 電力 P

例えば, 電線の任意の断面を 3 秒間に 12 C の電気量が流れたとすると, 1 秒当りに流れる電気量 = 電流 I は, 式 (1.3) より

$$I [\text{A}] = \frac{Q}{t} = \frac{12}{3} = 4 \text{ A}$$

となる。

1.3 電池の内部抵抗

図 1.3 のように乾電池に導線を接続すると, 乾電池に大電流が流れて, 電池が故障するか, 導線が発熱し発火事故が起きるだろうか?

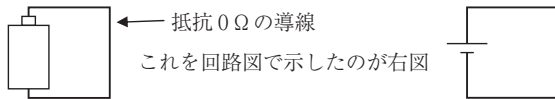


図 1.3

乾電池を使って短時間, 図 1.3 の実験をすると, 回路の抵抗が 0Ω であるので, オームの法則より

$$\text{電流 } I [\text{A}] = \frac{1.5}{0} = \text{無限大} = \infty$$

となり, パチンと大きな音がして火花が飛ぶ……かと思いきや, 5 A 程度の電流しか流れない。理由は, 電池の中の内部抵抗 $r [\Omega] = \frac{1.5}{5} = 0.3 \Omega$ があるからである[†]。したがって, 内部抵抗がある電池を使う場合, 図 1.4 のように小

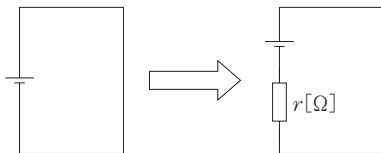


図 1.4

さな内部抵抗 $r [\Omega]$ を図中にただちに記入すると間違いがなくなる。

内部抵抗 $r [\Omega]$ を記入したうえで, オームの法則, 抵抗の接続, キルヒホッフの法則を適用すればよい。

[†] 古い電池で実験すると, 3 A 程度の電流が流れる。すなわち, 内部抵抗は 0.5Ω である。電池が古くなると内部抵抗が大きくなる。

1.4 抵抗の接続

抵抗を直列に接続した場合 (図 1.5(a)) の合成抵抗 R は

$$R = R_1 + R_2 \tag{1.4}$$

抵抗を並列に接続した場合 (図(b)) の合成抵抗 R は

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \tag{1.5}$$

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \tag{1.6}$$

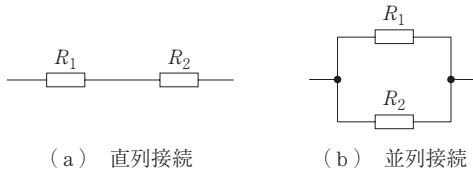


図 1.5

式 (1.6) を「 R =和分の積」と覚えてもよい。基本的な回路計算であり、オームの法則適用の基本でもあるので、以下のように直列、並列の公式を導き出せることが望ましい。

(1) 抵抗の直列接続公式の導出 (図 1.6)

回路計算のポイント

- ① 各抵抗にかかる電圧は異なる。
- ② 直列接続では、各抵抗を流れる電流は、どれも I [A] である。

各抵抗について、オームの法則を適用すると

$$V_1 = R_1 I \tag{1.7}$$

$$V_2 = R_2 I \tag{1.8}$$

$$V = RI \tag{1.9}$$

ここで、電圧の関係は

$$V = V_1 + V_2 \tag{1.10}$$

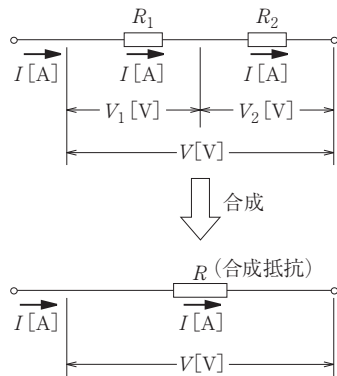


図 1.6

式 (1.7)~(1.9) を式 (1.10) に代入すると

$$RI = R_1 I + R_2 I$$

$$\therefore R = R_1 + R_2$$

(2) 抵抗の並列接続公式の導出 (図 1.7)

回路計算のポイント

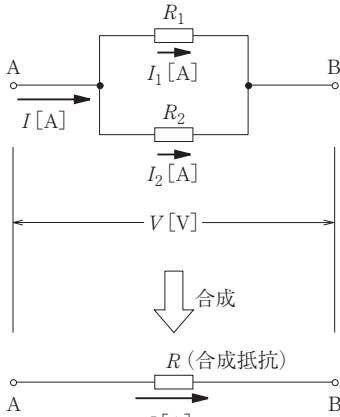


図 1.7

- ① 各抵抗を流れる電流は異なる。
- ② 並列接続では, 各抵抗にかかる電圧はどれも V [V] である。

各抵抗についてオームの法則を適用すると

$$V = R_1 I_1 \quad (1.11)$$

$$V = R_2 I_2 \quad (1.12)$$

$$V = RI \quad (1.13)$$

ここで, 電流の関係は

$$I = I_1 + I_2 \quad (1.14)$$

式 (1.11)~(1.13) を式 (1.14) に代入すると

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} \quad \therefore \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

1.5 抵抗率

図 1.8 のように, 長さ l [m], 断面積 S [m²] の導体における抵抗 R は

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad [\Omega] \quad (1.15)$$

で表される。ここで ρ を抵抗率といい, 単位は $\Omega \cdot \text{m}$ である。

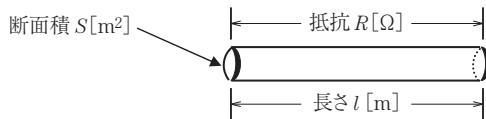


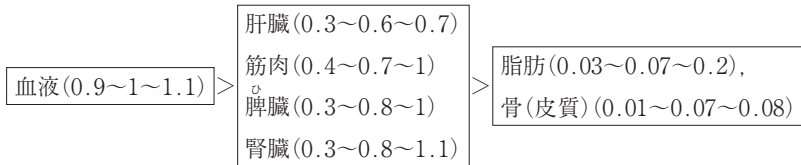
図 1.8

一方，抵抗率の逆数をとったものを導電率といい

$$\text{導電率 } \sigma = \frac{1}{\rho} \text{ [S/m] (ジーメンズ/m)} \quad (1.16)$$

で表される。したがって $[S] = \frac{1}{[\Omega]}$ の関係がある。

参考：(人間における生体組織の) 導電率 σ [S/m] を3つのグループに分け，およその大きさの順に並べた。測定値にばらつきがあるために，**概略の平均値**を示したうえで，導電率に幅を持たせてある。グループ間では，微妙なところもあるが，大きさに差が認められる。血液と脂肪・骨グループには明らかな差がある。



国家試験では「血液，肝臓，脂肪のうちで導電率が最も大きい(小さい)のはどれか」の形で出題されたことがある。なお，文献35)によると，周波数が上昇すると導電率は大きくなり，誘電率は小さくなる。さらに，上記の導電率 σ は，文献35)における $10^7 \sim 10^8$ Hz での値である。

抵抗率 ρ は，温度によって変化する。0 °C における抵抗率を ρ_0 ， t [°C] における抵抗率を ρ_t とすると

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t) \quad (1.17)$$

で表される。ここで， α は抵抗率の温度係数である。この α は抵抗の温度係数でもある。銅およびニクロムについて表 1.1 に示す。

表 1.1

| 金 属 | 抵抗率 [$\Omega \cdot m$] | 導電率 [S/m] |
|------|--------------------------|--------------------|
| 銅 | 1.7×10^{-8} | 5.8×10^7 |
| ニクロム | 110×10^{-8} | 0.01×10^7 |

1.6 キルヒホッフの法則

キルヒホッフの法則を理解するために順を追って説明する。

(1) 任意の分岐点において

流れ込む電流の和 = 流れ出る電流の和

となる。

図 1.17 の A 点において

$$I_1 = I_2 + I_3$$

(2) 電位 1 図 1.9(a) に示すように抵抗 R に流れる電流 I を, 図 (b) の水タンクおよび水流と対比させて考えよう。電位は, 図 (b) のタンクの高さ, 電位差 RI は, タンクの高さの差と考えればよい。

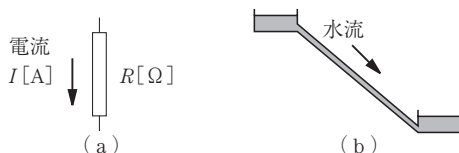


図 1.9

図 (b) より, 電流は電位の高いほうから低いほうに向かって流れる。図 (a) では, 下向きに電流が流れているが, 図 1.10 では X のほうが電位が高く, X と Y の電位差は RI である。

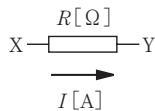


図 1.10

(3) 電位 2 電池について: 指示がない限り, 内部抵抗 $r=0$ とする。

図 1.11 において, 電池は A のほうが電位が高い。A-B の電位差は電池の電圧 (正しくは起電力) である。

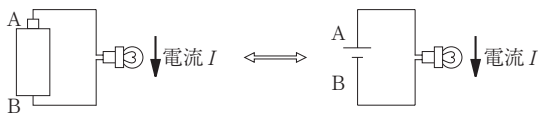


図 1.11

(4) 電池の逆接続 電圧が 1.2 V の二次乾電池と, 2.5 V の豆電球を

索引

| | |
|-------------|---------------------------------|
| 【あ】 | |
| アインシュタイン | 93 |
| アース | 116, 169, 170 |
| 圧電効果 | 91 |
| 圧電素子 | 91, 217 |
| 圧力 | 185 |
| アドミタンス | 71, 80 |
| アナログ型テスタ | 20, 22 |
| アナログ信号 | 193 |
| アナログ-デジタル変換 | 194 |
| 安定化電源 | 115 |
| アンパールの法則 | 32 |
| 【い】 | |
| イオン | 10, 104 |
| 胃カメラ | 91 |
| 閾値 | 218 |
| 位相 | 27, 65-70, 72, 145, 169, 171 |
| 位相差 | 70 |
| 一次電池 | 7, 11 |
| イマジナリーショート | 149, 150, 152, 171-173 |
| インダクタンス | 143 |
| インピーダンス | 65, 68, 69, 71, 72 |
| インピーダンス整合 | 76-78 |
| インピーダンス変換 | 118, 175 |
| 【う】 | |
| 渦電流 | 31, 37, 38 |

| | |
|----------------|--|
| 【え】 | |
| エミッタ | 106, 108, 115, 116, 118 |
| エミッタ接地 | 115-117 |
| エミッタフォロウ | 118, 175 |
| 円形電流 | 32 |
| 演算増幅器 | 158, 168 |
| 【お】 | |
| オシロスコープ | 20, 65, 67, 100, 195 |
| 音 | 146, 185, 186 |
| ——の強さ | 185, 186 |
| オフセット電圧 | 174 |
| オペアンプ (OP アンプ) | 149-154, 168-171, 174-181, 187-191, 195, 208-210 |
| オームの法則 | 1-3, 22, 74, 169, 173 |
| 音圧 | 185, 186 |
| 音圧レベル | 186 |
| 音響インピーダンス | 77 |
| 温度 | 5, 90, 91, 96 |
| 温度係数 | 5 |
| 温度差 | 95, 96 |
| 【か】 | |
| 外部雑音 | 190 |
| 拡散 | 110 |
| 拡散電流 | 111 |
| 角周波数 | 65 |
| 加算回路 | 173 |
| 加算平均 | 196-198 |
| 仮想接地 | 170 |

| | |
|------------|-------------------------------------|
| カットオフ周波数 | 147, 148, 150, 151, 153, 176 |
| 価電子 | 102-104 |
| 荷電粒子 | 95 |
| 過度現象 | 133 |
| 環状ソレノイド | 41, 75 |
| 乾電池 | 2, 6, 7, 11 |
| 【き】 | |
| 基準ベクトル | 70 |
| 起電力 | 6, 8, 31, 34-36, 41, 84, 93, 143 |
| 逆起電力 | 69 |
| 逆相利得 | 203 |
| 逆方向 | 105, 111 |
| キャリヤ | 93, 101, 102, 104-106, 108-110 |
| 強磁性体 | 29, 30, 38 |
| 共振 | 88 |
| 共振周波数 | 68, 71, 73, 80, 81, 85 |
| 共有結合 | 102, 104 |
| 虚数 | 71 |
| 虚数軸 | 71 |
| キルヒホッフの法則 | 2, 6, 141-143 |
| 【く】 | |
| 空乏層 | 105, 108-110 |
| クラーク電極 | 98 |
| クリップ回路 | 130 |
| クーロンの法則 | 28, 46 |
| 【け】 | |
| ゲート | 100, 108-110 |
| 原子核 | 102 |

- | | | | | | |
|------------|--|---------------|---|----------------|------------------------------------|
| 原子番号 | 102, 103 | 磁気シールド | 29, 30 | シンチレーションカウンタ | 95, 100 |
| 元素 | 102 | 磁気に関するクーロンの法則 | 28 | 心電計 | 188, 206 |
| 検波 | 211 | 次元 | 160, 161 | 振幅 | 26, 65, 193, 196, 210, 214-216 |
| 検流計 | 9 | 自己インダクタンス | 75 | 振幅変調 | 210, 213, 216, 217-219 |
| 【こ】 | | | | | |
| コイルの中心の磁界 | 32 | 仕事 | 1, 49, 92, 96 | | |
| 高周波 | 76, 77, 110, 116, 118 | 仕事関数 | 92 | | |
| 合成抵抗 | 3 | 磁石 | 28, 29, 31, 37, 38 | | |
| 高調波 | 157 | 磁性体 | 29, 38 | 【す】 | |
| 光電管 | 92 | 自然対数 | 141, 184 | 水晶振動子 | 91, 217 |
| 光電効果 | 91, 92, 94 | 磁束 | 31, 35 | スイッチング | 123 |
| 光電子 | 91, 92, 94, 95 | 磁束密度 | 31, 34, 93 | スペクトル | 216 |
| 光電子増倍管 | 92, 94, 95, 99, 100 | 実効値 | 65, 66, 74, 76 | 【せ】 | |
| 交流 | 20, 65-67, 74, 106, 121, 157 | 時定数 | 133, 141-144, 146, 150, 153, 160, 161, 163 | 正帰還 | 207, 210 |
| 交流電圧 | 20, 74, 112, 113 | 遮断周波数 | 144-146 | 正弦波 | 88, 180, 206, 210 |
| 誤差 | 20, 193 | 周期 | 102 | 正孔 | 101 |
| コレクタ | 116, 118-122 | 周期律表 | 101, 102 | 整合 | 76, 78 |
| コレクタ接地 | 115, 118, 175 | 集積回路 | 110, 168 | 静電気 | 46, 110 |
| コレクタ電流 | 119, 121, 122 | 充電 | 7, 11, 55, 141, 142 | 静電気に関するクーロンの法則 | 46 |
| コンデンサ | 47, 48, 55, 66-70, 72, 133-135, 140-142, 144, 146, 151 | 受動素子 | 90 | 静電誘導 | 47, 48, 187 |
| ——のエネルギー | 57 | 自由電子 | 101, 104 | 静電容量 | 48, 55, 57 |
| ——の接続 | 56 | 周波数 | 65, 73, 112, 144-151, 153, 154, 165, 211 | 整流 | 16, 90, 101, 106, 111-114 |
| 【さ】 | | | | | |
| サーミスタ | 90 | 周波数特性 | 116-118 | 整流回路 | 112, 113, 115 |
| 最大値 | 26, 66, 67, 216, 219 | 周波数変調 | 211, 220 | 整流作用 | 111 |
| サイリスタ | 100 | 出力インピーダンス | 76, 116-119, 149, 168, 169, 171, 175, 181 | ゼーベック効果 | 96, 97 |
| 差動増幅回路 | 171 | ジュール | 1 | 赤外線 | 91, 175 |
| 差動増幅率 | 189, 192 | ジュール = トムソン効果 | 96 | 赤外線センサ | 175 |
| 【し】 | | | | | |
| ジーメンス | 5 | 瞬時値 | 20 | 積分回路 | 133-135, 139, 145, 147, 151-154 |
| 磁界 | 28-36, 46, 93 | 順方向 | 106, 111 | 絶縁体 | 101 |
| 紫外線 | 93 | 消費電力 | 1, 66 | 接合形 FET | 108 |
| | | 常用対数 | 141, 184 | 絶対温度 | 187 |
| | | 磁力線 | 28-30, 32, 35 | 絶対値 | 71 |
| | | 真空の透磁率 | 28, 31, 75 | 接地 | 115, 116, 169, 170 |
| | | 真空の誘電率 | 46 | 全波整流回路 | 112, 113 |
| | | 信号対雑音比 | 147, 186, 187, 204 | 【そ】 | |
| | | 真性半導体 | 101, 123 | 増幅 | 90, 191, 207 |
| | | | | 増幅度 (増幅率) | 17, 95, 107, 116-118, 144, 150, |

152, 172, 174, 175, 179
 ソース 108-110
 速度 34, 36
 ソレノイド 33, 41, 42, 75

【た】

ダイオード
 90, 101, 111-113, 115
 帯電 48, 49, 51
 耐電圧 112, 113
 帯電体
 31, 34, 46, 47, 49, 50
 ダイヤモンド 101
 単位 55, 57, 160, 161,
 191, 192, 199, 200
 单相 114
 短絡 77, 188, 202, 204

【ち】

チャンネル 108
 超音波 77
 超音波エコー 77
 超伝導 96
 直線電流のまわりの磁界
 32
 直流 65, 74, 80, 107,
 113, 114, 160
 直列接続 3, 56, 72

【つ】

ツェナーダイオード
 111, 115

【て】

低域遮断周波数 144, 145
 抵抗 1-4
 抵抗率 4, 5, 30
 抵抗率の温度係数 5
 デジタル型テスタ 20
 定常波 77
 定電圧電源 115
 定電流ダイオード 111
 デシベル 187, 191

テスタ 20
 電圧 1, 3, 4, 6
 電圧降下 7
 電圧増幅度(率)
 116-118, 204
 電圧反射係数 76, 77
 電圧利得 186
 電位 6-9, 35
 電位差 6, 10, 49, 169
 電荷 28, 46, 47, 50-53
 電界 29, 46, 47, 49-53
 電界効果トランジスタ 108
 電気抵抗 30, 48, 65, 74,
 90, 97-99, 101, 104, 125
 電気分解 10
 電気力線 46-48, 50, 51
 電気量 2, 49, 55-57, 59,
 141, 142, 148

電源
 59, 107, 110, 115-119
 電源回路 115, 125
 電子
 10, 30, 101-106, 108-110
 電磁シールド 30
 電磁波 30, 31, 91, 93
 電磁誘導
 34, 36, 37, 41, 187
 電磁力 33, 34
 電池 2, 6-9, 11, 35, 36,
 40, 55, 59, 63, 94,
 105-110, 113, 118

電流 1-4, 6
 電流計 9, 13, 20-22
 電流増幅率 107, 116

電力
 1, 13, 14, 16, 17, 74, 101
 電力量 1, 74

【と】

等価回路 24
 同相除去比
 186, 191, 201-206
 同相弁別比

186, 191, 201-206
 透磁率 28-31, 41-43, 75
 同族元素 102
 導体 30, 31, 33-35,
 37, 38, 40, 44, 47, 51, 53,
 93, 101
 等電位線 46-48, 50
 導電率 5
 トランジスタ 101,
 106-108, 110, 115-121,
 123, 124, 131
 トランス 74, 112, 113
 ドリフト電流 110
 ドレーン 108-110

【な】

内部抵抗 2, 6, 11, 20-24
 鉛蓄電池 7, 11

【に】

二次電池 7, 11
 2進法 194, 195, 214
 二端子法 24
 入力インピーダンス 76,
 110, 116-119, 149, 150,
 168, 167, 171, 172,
 174-177, 192
 入力換算雑音 187-189

【ね】

ネイピア数 134, 141, 184
 熱雑音 187, 188, 199
 熱電対 97, 98

【の】

能動素子 90, 101

【は】

バイポーラトランジスタ
 106, 123, 132
 バイアス 117, 119, 121
 倍率器 22
 箔検電器 48

- | | | | | | |
|------------|-------------------------|---------------|-----------------------|-------------|------------------------|
| 白色雑音 | 192, 199 | 負荷抵抗 | 77, 78 | 法則 右ねじの— | 32 |
| 波 源 | 27 | 負帰還 | 208-210 | 膨 張 | 96 |
| バーチャルシヨート | | 複素数 | 68, 71, 72 | 放 電 | |
| | 169, 170 | 復 調 | 211 | | 134, 136, 137, 141 |
| 波 長 | 30, 91 | 不純物半導体 | 101, 102 | 飽和状態 | 131 |
| 発 振 | 208, 209 | 不導体 | 101, 108 | ホットダイオード | 125 |
| 発振器 | 209, 210 | ブリッジ整流回路 | 113 | ホール | |
| 速 さ | 34 | フレミングの左手の法則 | | | 93, 101, 105, 106, 108 |
| パルス周波数変調 | 213 | | 31-34 | ホール効果 | 93 |
| パルス振幅変調 | 213 | フレミングの右手の法則 | | ボルテージフォロウ | |
| パルス符号変調 | 214 | | 31, 34, 35 | | 175, 176 |
| 反 射 | 31, 76, 77 | 分 極 | 64 | ホワイトノイズ | 187, 192 |
| 搬送波 | 210-212, | 分流器 | 21 | | |
| | 214-216, 218, 219 | | | 【ま】 | |
| 反転増幅器 | | 【へ】 | | 巻線比 | 74, 78 |
| | 116, 150, 169, 174, 207 | 平滑回路 | 113-115 | マッチングトランス | 77, 78 |
| 半導体 | 96, 101, 110, 111 | 平滑コンデンサ | 112, 113 | | |
| 半導体素子 | 91, 93, 110 | 並列接続 | 3, 4, 56, 72 | 【み】 | |
| 半導体レーザ | 125 | ベクトル | 68-73, 145, 146 | 密 度 | 110 |
| 半波整流 | 16, 112, 114 | ベース | 106, 108, | ミラー効果 | 116-118 |
| | | | 115-119, 121-123 | 【ゆ】 | |
| 【ひ】 | | ベース接地 | 115, 117 | 誘電体 | 48, 57 |
| ピエゾ素子 | 91 | ベルチェ効果 | 95 | 誘電分極 | 48, 64 |
| ピオ・サバルの法則 | | 変圧器 | 74, 86, 87, 89 | 誘電率 | 46, 57 |
| | 32, 33 | 変 位 | 26, 27 | ユニポーラトランジスタ | |
| 比較器 | 172 | 変 調 | 210, 216, 219 | | 108, 110, 132 |
| ピーク | 159 | 【ほ】 | | 【よ】 | |
| ピークからピーク | 206 | ホイートストンブリッジ | | 陽 子 | 102 |
| ひずみ | 97, 121, 210 | | 9, 10 | 四端子法 | 24 |
| 比透磁率 | 29 | 法則 オームの— | | | |
| 非反転増幅器 | | | 1-3, 22, 74, 169, 173 | 【り】 | |
| | 118, 119, 177 | 法則 キルヒホッフの— | | 力 率 | 70 |
| 微分回路 | 133, 136-138, | | 2, 6, 141-143 | リップル | 114 |
| | 144, 146-151, 154, 163, | 法則 クーロンの— | | リップル率 | 114 |
| | 172, 174 | | 28, 46 | 利 得 | 17, 107, 185, 199 |
| 比誘電率 | 57 | 法則 ファラデーの電磁誘導 | | 流 速 | 44 |
| ファラド | 55 | の— | 36, 37, 41 | 流 体 | 44 |
| ファラデーの電磁誘導 | | 法則 フレミングの | | 流 量 | 44 |
| | 36, 37, 41 | 左手の— | 31-34 | 量子化 | 193, 214 |
| 【ふ】 | | 法則 フレミングの | | 量子化誤差 | 193, 194 |
| 負 荷 | 113 | 右手の— | | 量子化雑音 | 193, 194 |
| 負荷線 | 119-121 | | 31, 34, 35 | | |

| | | | | | |
|------|--------------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------------|
| | [A] | | [K] | N チャンネル | 108-110 |
| AC | 112, 113 | K 殻 | 102, 103 | [P] | |
| AM | 210-215, 220 | | | PNP 形トランジスタ | |
| | [C] | | [L] | 106, 107 | |
| CMRR | 176, 186, 191, 192, 201-206 | LED | 98 | PN 接合 | 105 |
| | | LSI | 110 | PZT | 91 |
| | | L 殻 | 102, 103 | P 形半導体 | 93, 101, 102, 104, 105, 125 |
| | [D] | | [M] | P チャンネル | 110 |
| DC | 112, 113 | MOS 形 FET | 109 | S/m | 5 |
| | [F] | M 殻 | 102 | [S] | |
| F/m | 46, 57 | | | S 極 | 28, 29, 31 |
| FET | 101, 108-110 | | [N] | [V] | |
| FM | 211-213, 220 | NON 形トランジスタ | 106, 107, 118 | V/m | 49, 50 |
| | [J] | N 形半導体 | 93, 101, 102, 104, 125 | | |
| JFET | 108 | N 極 | 28, 29, 31 | | |

— 著者略歴 —

1966年 広島大学理学部物理学科卒業

1966～2006年

静岡県立高等学校教諭、教頭、非常勤講師などを歴任

2007～2012年

静岡医療科学専門学校非常勤講師

医療系資格試験のための電気

— 臨床工学技士国家試験・第2種 ME 技術実力検定試験 —

© Akihiko Nakada 2012

2012年4月6日 初版第1刷発行



検印省略

著者 なか だ あき ひこ
仲 田 昭 彦
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 978-4-339-07229-7 (安達) (製本：複製本印刷)

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