

ま え が き

電気回路において例えばオームの法則を理解していても、「理解している」ことと「問題が解ける」ことは決してリンクするものではない。また、交流回路においては複素数計算や微積分など応用数学的な計算力と、その計算が実際の現象の何に対応しているのかという理解が必要となるが、多くの学生はその理解ができぬまま面倒な計算をさせられ、その結果、電気が嫌い・苦手・わからない、という状態に陥っているように思う。

電気は目に見えない分、機械より理解がしにくいのである。

また、従来の参考書のあり方も、電気を苦手にさせている原因の一つに挙げられるように思う。いわゆる教科書は理屈の説明は厳格であるが、その分、一読ではわかりにくく、問題解答のテクニックというものにはほとんど触れていない。また、問題集は理屈を理解していることを前提に書かれており、やってみただけさっぱりわからないということになりがちである。

本書の執筆コンセプトは「臨床工学技士のための機械工学」（コロナ社刊）と同様である。すなわち、説明の対象を「第2種ME技術実力検定試験（以下、ME2種とする）と臨床工学技士国家試験（以下、国家試験とする）に必要な内容」に絞り込み、従来の教科書より説明項目を少なくし、その代わり試験に出る項目について、理解の助けになる説明と問題を解くためのテクニックをしっかりと解説している。

また、「臨床工学技士のための機械工学」と同様、ME2種と国家試験の関連過去問を掲載し、他の過去問集以上に詳しい説明を加え、種々の法則を解答にどう結びつけるかの解説に力を注いだ。

本書は「理屈」と「実践（試験テクニック）」をバランスさせたものを目指しており、理論をしっかり学びたい学生にとっても、手っ取り早く問題の解き

方を知りたい学生にとっても需要が高いものになると考えている。

本書の付録（過去問集）では、ME 2種について第 23 回（2001 年）、国家試験について第 15 回（2002 年）以降の問題・解答を収録する予定であったが、全体のページ数が増えすぎてしまったため、ME 2種については第 28 回（2006 年）、国家試験については第 19 回（2006 年）以降のものにとどめた。本書に収録できなかった分、および本書発刊後の ME 2種・国家試験問題に関しては、コロナ社の Web ページ（<http://www.coronasha.co.jp/>）の本書の書籍紹介に掲載する予定である。本書と合わせて活用していただきたい。

本書は臨床工学技士を養成する大学・専門学校などの教科書として使用されることを想定しているが、独学で勉強する学生にとっても十分に利用できるように配慮したつもりである。本書が ME2 種・国家試験合格の一助になれば幸いである。

2014 年 1 月

西村 生哉

目 次

1. 直 流 回 路

1.1 電気素子の記号	1
1.2 オームの法則	2
1.3 抵抗の接続	3
1.4 電流計・電圧計	9
1.4.1 原理	9
1.4.2 記号とつなぎ方	9
1.5 入力インピーダンス・出力インピーダンス	11
1.6 ホイートストンブリッジ	17
1.7 キルヒホッフの法則	19
1.8 電力	22
1.9 抵抗率・導電率	23
本章のまとめ	26

2. 交 流 回 路

2.1 振幅, 周期, 周波数, 実効値, 位相	28
2.2 交流を表す数式	34
2.3 コイルとコンデンサ	36
2.3.1 コイル	36
2.3.2 コンデンサ	38
2.4 RLC 直列回路	40
2.4.1 インピーダンス	41

2.4.2 共 振	42
2.5 交流回路の計算	43
2.6 RLC 並列回路	47
2.7 フ ィ ル タ	51
2.8 過 渡 現 象	55
2.9 ダ イ オ ード	62
2.9.1 ダイオードの働き	62
2.9.2 ダイオードまわりの電圧	64
2.9.3 実物のダイオード	72
2.9.4 ダイオードの種類	73
本章のまとめ	74

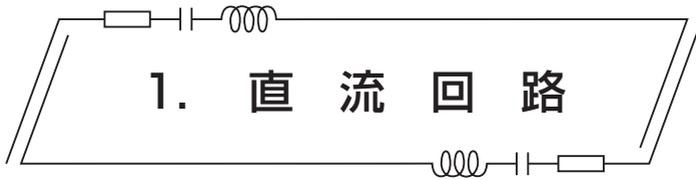
3. 電 磁 気 学

3.1 電 荷	81
3.2 電 場	82
3.3 電 位	85
3.4 コンデンサの性質	87
3.4.1 静 電 容 量	87
3.4.2 コンデンサの接続	90
3.4.3 コンデンサのエネルギー	94
3.5 磁気関係の言葉	97
3.6 電流による磁場	100
3.7 電流, 磁場, 力	102
3.8 電 磁 誘 導	105
3.8.1 電 磁 誘 導	105
3.8.2 トランス (変圧器)	108
3.8.3 インダクタンス	112
3.9 そ の 他	114
3.9.1 静電界中の導体	114
3.9.2 電 気 力 線	114

3.9.3 渦電流	114
3.9.4 単位	115
本章のまとめ	116

付 録

A. 第2種ME技術実力検定試験	120
A.1 問題（電気回路抜粋）	120
A.2 解答・解説	134
B. 臨床工学技士国家試験	153
B.1 問題（電気回路抜粋）	153
B.2 解答・解説	183
索 引	213



直流回路は電気回路の基本である。オームの法則とキルヒホッフの法則を理解していれば、原理的にはほとんどの問題は解ける。原理的といったのは、法則を理解していることと問題解答力が必ずしもイコールではないからである。本章では法則の説明に加えて、問題を解くコツを解説しよう。

1.1 電気素子の記号

オームの法則とキルヒホッフの法則を説明する前に、本章の登場人物を紹介しよう。直流電源（電圧）、抵抗、電流、導線（電線）の四つである。

まずは直流電源。記号は —|—|— で、長い線（この図では左側）がプラス、短い線（右側）がマイナスを表している。図 1.1 では上がプラス、下がマイナスである。プラス側は E [V]（ボルト）、マイナス側は 0V と考えてよい。マイナス側の線が太くなっているが、そうしなければならない決まりはなく、後に出てくるよく似た記号（コンデンサ）と区別するために本書ではそうしている。直流電源はつねに一定の電圧を発生する。一番身近な例は電池である。われわれが普段使う単三や単四の電池の電圧は 1.5V であるが、テスト問題ではいろいろな電圧の電源が登場する。図 1.1 では E [V] となっている。

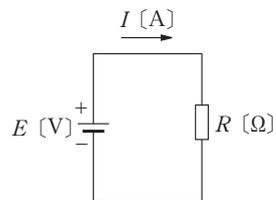


図 1.1

つぎは抵抗。名前のおとおり、これが大きいと電流が流れにくくなる。記号は

—□—。以前は \sim という記号が使われていた。そのなごりで現在でも抵抗を \sim で表している教科書が多く存在する。最近の ME 2 種や国家試験では —□— が使われているが、過去問では \sim になっている。単に記号が変わっただけなので、大きな問題ではないし、混乱することもないだろう。本書では（過去問以外の説明では）これ以降、—□— を用いることにする。抵抗の単位は Ω （オーム）。図 1.1 の抵抗は $R [\Omega]$ である。—|— は電池を表すといったが、実際の電池は内部に抵抗を持っている（内部抵抗）。—|— は内部抵抗などなく、純粹に電圧だけを発生するデバイスを表しているので、実際の電池を表現するときには図 1.2 のように表すことがある。破線内が電池であり、これ

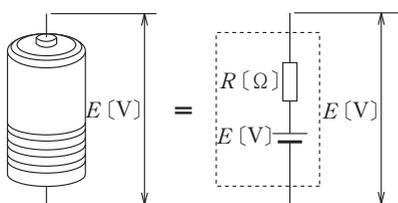


図 1.2

は起電力 E [V]、内部抵抗 R [Ω] の電池である。

つぎは電流。これは目には見えないので記号はない。単位は A（アンペア）で、図 1.1 の回路には I [A] の電流が流れている。電流は電圧の高いほうから低いほうへ（プラスからマイ

ナスへ）と流れるので、図 1.1 の場合は矢印で示した方向に電流が流れることになる。

最後は導線。記号は ———— で、要するに単なる線で表現される。実際の導線にはきわめて小さいながら抵抗があるが、特にことわりがない限り、抵抗 0 の電流の通り道と考えてよい。

1.2 オームの法則

オームの法則を言葉でいうと「電圧と電流は比例する」となる。1V で 1A 流れる回路の電源を 2V にすると、電流は 2A になる。このときの抵抗は 1 Ω だが、抵抗を 2 倍の 2 Ω にして 1V の電圧をかけると、流れる電流は 0.5 A になる。これを式で表すと

$$E = IR \tag{1.1}$$

となる。

例えば、図 1.1 において $E = 10\text{ V}$ 、 $R = 1\text{ k}\Omega$ としてみよう (図 1.3)。流れる電流は $I = E/R = 10/1000 = 0.01\text{ A} = 10\text{ mA}$ となる。ちなみに $1\text{ k}\Omega$ は 1 キロオーム で 1000 オーム のこと、 10 mA は 10 ミリアンペア で 0.01 アンペア のことである。

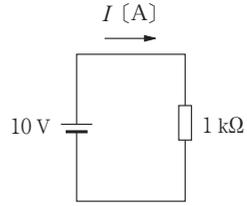


図 1.3

1.3 抵抗の接続

図 1.1 および図 1.3 の回路では抵抗は 1 本だけであるが、複数本の抵抗が接続される場合は、そのつながり方に直列接続と並列接続がある。図で示すと図 1.4 のとおりで (a) が直列接続、(b) が並列接続である。テストに出るわけではないが、並列を平列と書くと誤りである (というか、はずかしい) ので注意しよう。

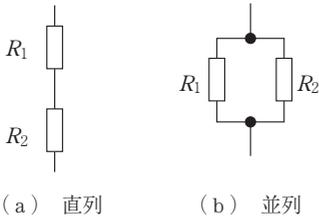


図 1.4

さて、このように複数本の抵抗が接続される場合で問題となるのは、その合成抵抗である。例えば図 1.5 (a) の電流 I が知りたい場合、図 (b) のように R_1 と R_2 の合成抵抗 R がわかれば、オームの法則 $I = E/R$ で求めることができる。

図 1.4 (a) の直列接続の場合

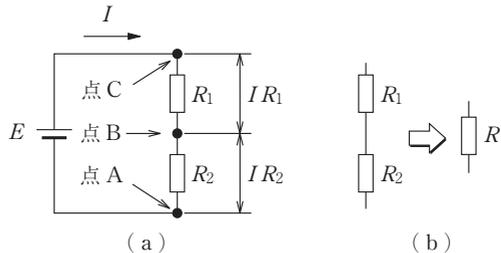


図 1.5

$$R = R_1 + R_2 \tag{1.2}$$

となる。これは直感的に理解できるであろう。例えば $E = 10\text{ V}$ 、 $R_1 = 3\Omega$ 、 R_2

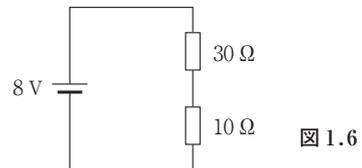
4 1. 直 流 回 路

$=2\Omega$ であれば $R=3+2=5\Omega$ となり、電流は $I=10/5=2\text{A}$ である。

さて、オームの法則によれば 電流 \times 抵抗=電圧 であった。抵抗 R_1 には I の電流が流れているのだから IR_1 [V] の電圧がかかっているはずで、また抵抗 R_2 にも I の電流が流れているのだから IR_2 [V] の電圧がかかっているはずである。上の数値を入れると、 R_1 にかかっている電圧は $2\times 3=6\text{V}$ 、 R_2 にかかっている電圧は $2\times 2=4\text{V}$ となる。当然この二つを足せば電源電圧 10V になる。このように、抵抗を直列に接続すると電圧を分けることができる。図 1.5 の点 A を基準 (0V) として考えると、点 B の電位 (基準から測った電圧) は 4V で、点 C の電位は 10V である。電流の通る順番に見ると C (10V) \rightarrow B (4V) \rightarrow A (0V) であり、抵抗を通るたびに電圧が下がる。この現象を電圧降下という。

例題 1.1 図 1.6 の 10Ω の抵抗の

両端にかかる電圧は何 V か。



解答

合成抵抗は $30+10=40\Omega$ 、電源電圧が 8V だから、流れる電流は $8/40=0.2\text{A}$ である。この電流は 30Ω の抵抗にも 10Ω の抵抗にも流れている。 10Ω の抵抗に 0.2A の電流が流れるのだから、そこにかかっている電圧は $0.2\times 10=2\text{V}$ となる。 30Ω の抵抗には 6V の電圧がかかっている。抵抗比が $30\Omega:10\Omega=3:1$ 、電圧比も $6\text{V}:2\text{V}=3:1$ で同じになる。それを知っていれば、この問題は「8 を二つに分けて $3:1$ になるのは？」という問題に単純化される。◆

つぎに、並列接続の場合 (図 1.7) を考えてみよう。このとき合成抵抗 R は

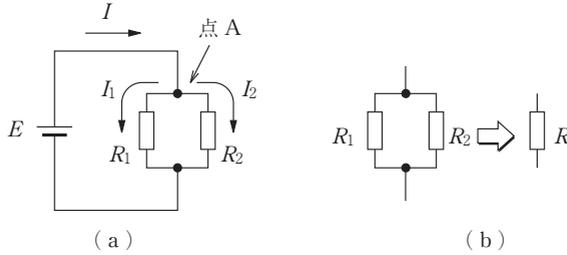


図 1.7

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.3)$$

となる。直列接続に比べてややこしい式なので、覚えておくこと。 $E=10\text{V}$ 、 $R_1=3\Omega$ 、 $R_2=2\Omega$ であれば $R=(3 \times 2)/(3+2)=6/5\Omega$ となり、電流は $I=10/(6/5)=25/3(=8.33)\text{A}$ である。そうなる理由を以下で説明しよう(ただし、理由そのものはテストには出ない)。

図 1.7 に示したように、回路を流れる電流 I は回路の分岐点(点 A)で電流 I_1 と I_2 に枝分かれする。ポイントは二つあり、一つ目は $I=I_1+I_2$ になるということ。これは直感的にわかるだろう。電流は理由もなしに増えたり減ったりしないのである。二つ目のポイントは、2 個の抵抗にはどちらも同じ E [V] の電圧がかかっているということ。抵抗 R_1 に注目すると電圧が E で電流が I_1 だから $E=I_1R_1$ 、つまり $I_1=E/R_1$ である。同様に、 R_2 のほうは $I_2=E/R_2$ である。これに最初のポイントを適用すると

$$I = I_1 + I_2 = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} = E \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\therefore \frac{E}{I} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

となり、すなわち合成抵抗 R は式 (1.3) で表されることがわかる。

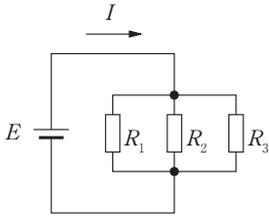


図 1.8

間違えやすいのは三つ以上の抵抗が並列になった場合である。例えば図 1.8 の合成抵抗は $(R_1 \times R_2 \times R_3) / (R_1 + R_2 + R_3)$ としてしまいがちだがじつは違う。考え方は上に示したものでよいのだが、最後の計算部分が

$$\frac{E}{I} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{R_1 \times R_2 \times R_3}{R_1 \times R_2 + R_2 \times R_3 + R_3 \times R_1}$$

となる。抵抗が四つになるとさらに複雑になる。これらを全部覚えるわけにはいかない。ほとんどの場合、試験に出るのは抵抗二つの並列接続であるから $(R_1 \times R_2) / (R_1 + R_2)$ を覚えておけばよいが、三つ以上の場合

$$\frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots}$$

の式で計算することにしよう。

例題 1.2 図 1.9 の回路 (a) ~ (c) で電圧 E [V], 抵抗 R_1 [Ω], R_2 [Ω], R_3 [Ω] がわかっている。抵抗 R_1 に流れる電流 I_1 [A], R_2 に流れる I_2 [A], R_3 に流れる I_3 [A] を求めよ。

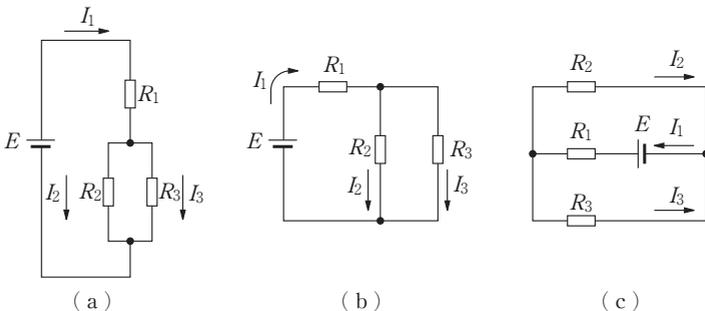


図 1.9

解答

オームの法則および合成抵抗の考え方で解ける。順を追って考えれば難しいことはない。まずは (a) から考えよう。考え方は以下の順である (図 1.10 参照)。

- ① R_2 と R_3 の合成抵抗 R_{23} を並列接続の考え方で求める。
- ② R_1 と R_{23} の合成抵抗 R (これが全体の合成抵抗になる) を直列接続の考え方で求める。
- ③ オームの法則で電流 I_1 が求まる。
- ④ 合成抵抗 R_{23} にかかっている電圧 E_{23} を求める。
- ⑤ オームの法則で電流 I_2 と I_3 を求める。

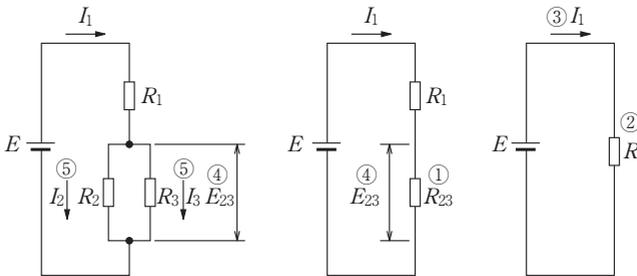


図 1.10

では、具体的に計算してみよう。

- ① R_2 と R_3 の合成抵抗 R_{23} は式 (1.3) から $R_{23} = (R_2 \times R_3) / (R_2 + R_3)$ である。
- ② R_1 と R_{23} の合成抵抗 R は式 (1.2) から $R = R_1 + R_{23}$ である。
- ③ よってオームの法則 (式 (1.1)) から電流 $I_1 = E/R$ である。
- ④ 合成抵抗 R_{23} にかかっている電圧 E_{23} は $E_{23} = I_1 R_{23}$ である。
- ⑤ 抵抗 R_2 を流れる電流 I_2 は $I_2 = E_{23}/R_2$, 抵抗 R_3 を流れる電流 I_3 は $I_3 = E_{23}/R_3$ である。

計算そのものは電気回路というより初等数学であり、これは一所懸命にやってもらうしかない。

では、つぎに問題図の (b) の回路について考えてみよう。その前に図 1.11 の二つの回路を見てもらいたい。抵抗の位置が違っているが、これは単に図の描き方によるものであり、この二つの回路は同じものである。それを頭に置いて問題図の (a) と (b) の回路を比べてみよう。じつは、(a) と (b) の回路はまったく同じものである。したがって、解き方も答も上と同じになる。

索 引

	【あ】				
アノード	62	【せ】	発電機の原理	102	
		整流	63	半波整流	63
		積分回路	59	【ひ】	
【か】		先鋭度	43	比透磁率	99
カソード	62	全波整流	63	微分回路	60
可変容量ダイオード	74	【そ】		比誘電率	88
		ソレノイド	165, 192	【ふ】	
【き】		【ち】		フォトダイオード	74
逆方向	62	直列接続	3, 90	複素数	44
キャパシタ	176, 205	【つ】		フレミングの左手の法則	102
Q 値	43	ツェナーダイオード	73	フレミングの右手の法則	102
虚数	44	ツェナー電圧	73	【へ】	
		【て】		並列接続	3, 90
【こ】		低域通過フィルタ	51	【も】	
高域通過フィルタ	53	定電圧ダイオード	73	モーターの原理	102
合成静電容量	90	電圧拡大率	43	【ゆ】	
合成抵抗	3	電圧降下	4	誘電体	91
降伏	72	電界	82	誘電率	83
コンダクタンス	25	電磁石	101	【り】	
		電流密度	25	リアクタンス	45
【し】		【と】		理想ダイオード	72
磁界	97	透磁率	99	理想トランス	108
磁極	97	トンネルダイオード	74	リップル	97
——の強さ	97	【な】		【ろ】	
自己誘導	112	内部抵抗	2, 9	ローパスフィルタ	51
磁束	98	【は】			
磁束密度	99	ハイパスフィルタ	53		
時定数	56	発光ダイオード	74		
磁場	97				
ジーメンス	25				
遮断周波数	52				
順電圧	72				
順方向	62				
磁力線	98				

—— 監修者・著者略歴 ——

三田村 好矩 (みたむら よしのり)
1966年 名古屋工業大学工学部計測工学科卒業
1969年 北海道大学大学院修士課程修了(電子工学専攻)
1971年 北海道大学大学院博士課程修了(電子工学専攻), 工学博士
北海道大学助手
1978年 北海道大学助教授
1989年 北海道東海大学教授
1998年 北海道大学教授
2007年 北海道大学名誉教授

西村 生哉 (にしむら いくや)
1985年 北海道大学工学部精密工学科卒業
1987年 北海道大学大学院修士課程修了(精密工学専攻)
日本電子株式会社入社
1990年 北海道大学助手
1999年 博士(工学)(北海道大学)
2007年 北海道大学大学院助教
現在に至る

臨床工学技士のための電気工学

Electrical Engineering for Clinical Engineers

© Ikuya Nishimura 2014

2014年3月17日 初版第1刷発行



検印省略

監修者 三田村 好 矩
著 者 西 村 生 哉
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 978-4-339-07236-5

(大井)

(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