電気回路基礎ノート

工学博士　森　　真作　著

コロナ社

ま　え　が　き

電気回路理論は，電気電子工学を専攻する学生にとって最も基礎的でかつ重要な学科目の一つであることはいうまでもない。近年多くの大学で情報工学に関連する学科がつぎつぎに設置され，そのための電気回路理論の教科書が数多く出版されているが，電気・電子系の学生にとっては内容的に不十分な点があるように思われる。従来，電気・電子系の学生のための電気回路理論の教科書は複数冊で構成されているのが普通であるが，本書は１冊の教科書として簡潔にまとめたものである。

本書の構成を簡潔に示すと，１章では，キルヒホッフの電流則と電圧則について説明し，行列で表す方法を示している。２章では，抵抗とその逆数であるコンダクタンスについて説明し，回路で消費する電力について説明する。３章では，電源として電圧源と電流源が考えられることを説明し，両者がたがいに変換できることを示すと同時に負荷で消費する電力が最大となるための条件を示す。４章では，回路方程式を作る場合に，電圧を変数とする場合と電流を変数とする場合について説明し，場合によっては同じ回路でも変数の数が異なることがあることを示している。５章では，回路理論できわめて重要でかつ有用である重ねの理，テブナン（ノートン）の定理，相反定理を説明し，その有用性を示している。６章では，キャパシタ（コンデンサ）とインダクタ（コイル）の性質について説明し，特に電荷と磁束の連続性について示している。７章では，キャパシタ，インダクタ，抵抗を含む簡単な回路の微分方程式の作り方と，６章に基づいて初期値の決め方および微分方程式の解き方について説明する。８章では，電源が正弦波である場合の定常状態における電流・電圧の計算にきわめて有効なフェーザ法について説明し，インピーダンス（アドミタンス）の概念を用いることにより直流回路とまったく同じようにして電圧・電流

が求められることを示している。9章では，相互インダクタとその等価回路について説明している。10章では，二つの端子対間の電圧・電流の関係を示すインピーダンス行列，アドミタンス行列，伝送行列について説明する。11章では，電力関係でよく用いられる三相交流回路について説明し，Δ-Y変換，Y-Δ交換について説明する。12章は，正弦波でないひずみ波交流回路について説明し，ひずみ波のフーリエ級数表示，消費電力について説明する。13章では，分布定数回路とは何かについて説明するとともに，特性インピーダンス，信号の伝搬速度，反射など基本概念について簡単に説明する。

本書を執筆するにあたっては日本工業大学の堀田教授，谷本教授，高瀬講師をはじめ多数の教員の皆様方，また三郷工業技術高等学校の下田氏にお世話になった。

最後に，出版にあたり大変お世話になったコロナ社各位に感謝する次第である。

2006年9月

森　真作

目　　　次

1　キルヒホッフの法則

2　抵抗・コンダクタンス

3　電　　　源

4　回 路 方 程 式

5　回路における諸定理

6　キャパシタとインダクタ

7 基本回路の性質

8 正弦波定常状態の解析

9 相互インダクタ

10 2 端 子 対 回 路

11 三相交流

12 ひずみ波交流

13　分布定数回路

1 キルヒホッフの法則

本章は電気回路において，最も基本的でかつ重要な法則であるキルヒホッフの法則について説明している。この法則は，電流に関するものと電圧に関するものの二つがある。

1.1 キルヒホッフの電流則

図1.1に示す回路において，回路素子をすべて線分で表すと**図1.2**の図形が得られる。これを回路の**グラフ**（graph）と呼ぶ。また回路素子に対応する線分 b_1，b_2，…，b_6 を**枝**（branch）と呼び，枝がたがいに接続されている点 n_1，n_2，n_3，n_4 を**節点**（node）と呼ぶ。また，ある節点から出発し，いくつかの枝を経て再び元の節点に戻るような路，例えば n_1～n_2～n_4～n_1 のような路を**閉路**（loop）という。

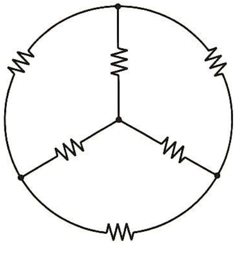

図1.1

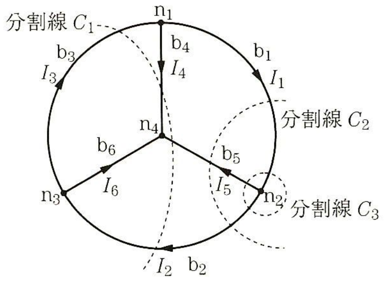

図1.2

キルヒホッフの電流則

ある任意の節点から流出する電流の代数和は，あらゆる瞬間において零である。

図1.2に示す回路の枝 b_1，b_2，…，b_6 の枝電流を I_1，I_2，…，I_6 とし，各節点について電流則を式で表すと

$$
\begin{aligned}
n_1 &: \quad I_1 - I_3 + I_4 = 0 \\
n_2 &: -I_1 + I_2 + I_5 = 0 \\
n_3 &: \quad I_3 - I_2 + I_6 = 0 \\
n_4 &: -I_4 - I_5 - I_6 = 0
\end{aligned}
$$

となる。ここで n_1, n_2, n_3 に関する式の和をとってみると

$$I_4 + I_5 + I_6 = -(-I_4 - I_5 - I_6) = 0$$

となる。これは，n_4 の式は n_1，n_2，n_3 の式から導かれることになる。このことは四つの式のうち一つが不要であることを意味している。以上のことを行列で表すと

$$
\begin{array}{c}
\\ n_1 \\ n_2 \\ n_3
\end{array}
\!\!\!
\begin{array}{c}
\begin{array}{cccccc} b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 & b_6 \end{array} \\
\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
\end{array}
\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \qquad \boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{I} = \boldsymbol{0}
$$

$\boldsymbol{A}$ を**接続行列**（incidence matrix）と呼び，枝の接続の状態を表している。以上は節点 n_1，n_2，n_3 に関する式であるが，四つの節点のうち，いずれか一つの式を削除してもよい。キルヒホッフの電流則は，ある節点に流入する電荷はこの節点に蓄積されないこと，すなわち電荷の保存則を表しているとも考えることができる。

つぎに図1.2の破線で示すようにグラフを二つに分割してみる。例えば分割

線 C_1 で切られる枝 b_3, b_4, b_5, b_2 の集まりを**カットセット**（cut set）と呼ぶ。もちろん分割の方法により，カットセットの枝は異なってくるが，キルヒホッフの電流則と同じように分割された部分のどちらにも電荷は蓄積されることはない。

> カットセットに含まれる各枝に流れる電流の代数和は，あらゆる瞬間において零である。

分割線 C_1 の左の部分から右の部分に流れる電流を正にとると

$$I_3 - I_4 - I_5 - I_2 = 0$$

となり，さらに分割線 C_2 に関しては

$$-I_1 + I_2 + I_5 = 0$$

となる。これは節点 n_2 に関する電流則と同じものになる。これは n_2 に関する電流則にほかならない。

以上のことから，節点に関する電流則はカットセットに関する電流則に含まれることになる。

例題 1.1　**図 1.3** に示される回路において

（1） 節点 n_1, n_2, n_3, n_4, n_5 に関する電流則の式を行列で表せ。

（2） 分割線 C_1, C_2 によるカットセットに関する電流則の式を示せ。ただし，カットセット電流は C_1, C_2 の左側から右側に流れる電流を正とする。

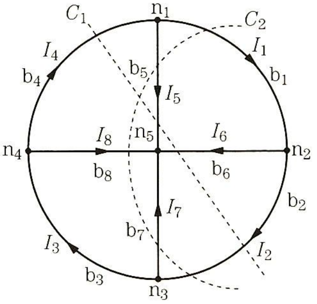

図 1.3

【解答】

（1）　各節点から流出する電流を正にとると

$$
\begin{array}{c}
\\
\begin{array}{c} \mathrm{n}_1 \\ \mathrm{n}_2 \\ \mathrm{n}_3 \\ \mathrm{n}_4 \\ \mathrm{n}_5 \end{array}
\end{array}
\begin{array}{c}
\begin{array}{cccccccc} \mathrm{b}_1 & \mathrm{b}_2 & \mathrm{b}_3 & \mathrm{b}_4 & \mathrm{b}_5 & \mathrm{b}_6 & \mathrm{b}_7 & \mathrm{b}_8 \end{array} \\
\begin{bmatrix}
1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
-1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1
\end{bmatrix}
\end{array}
\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \\ I_8 \end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}
$$

となる。この場合も n_1，n_2，n_3，n_4 に関する式の総和をとると n_5 に関する式となる。

（2）　定義に従って

$C_1：I_4-I_5-I_6-I_2=0$

$C_2：I_1+I_5+I_8+I_7-I_2=0$

となる。

1.2　キルヒホッフの電圧則

図 1.4 に示す回路の枝 b_1，…，b_6 の枝電圧を V_1，V_2，…，V_6 とすると，閉路 l_1，l_2，l_3，l_4 に沿った電圧の方程式は

$l_1：V_1+V_5-V_4=0$

$l_2：V_2+V_6-V_5=0$

$l_3：V_3+V_4-V_6=0$

$l_4：V_1+V_2+V_3=0$

となるが，この場合にも l_1，l_2，l_3 に関する式の総和は l_4 に関する式と同じになり，l_4 に関する式は不要となる。これらの式を行列の形で表すと

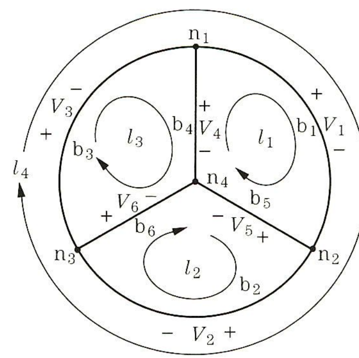

図 1.4

$$
\begin{array}{c}
\\ l_1 \\ l_2 \\ l_3
\end{array}
\begin{array}{c}
\begin{array}{cccccc} b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 & b_6 \end{array} \\
\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}
\end{array}
\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \qquad \boldsymbol{B}\cdot\boldsymbol{V} = \boldsymbol{0}
$$

$\boldsymbol{B}$ を**閉路行列**（loop matrix）という。

キルヒホッフの電圧則

任意の一つの閉路についてその向きを考えた場合，閉路に沿って一巡するときに各枝の電圧の代数和は任意の瞬間において零である。

この法則は単位電荷をある節点から出発して閉路に沿って元の節点まで動かしたときになす仕事が零であることを意味し，エネルギーの保存則を表しているとも考えられる。

例題 1.2

（1） **図 1.5** で示されるように閉路をとった場合の閉路行列 $\boldsymbol{B}$ を求めよ。

（2） **図 1.6** で示されるように閉路をとった場合の閉路行列 $\boldsymbol{B}$ を求めよ。

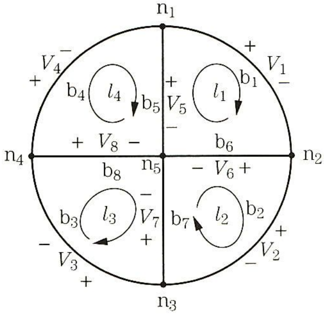

図 1.5

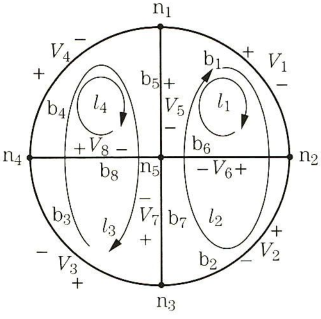

図 1.6

索　　　　引

——著者略歴——

1957 年　慶應義塾大学工学部電気工学科卒業
1962 年　慶應義塾大学大学院博士課程修了（電気工学専攻）
1966 年　工学博士（慶應義塾大学）
1969 年　慶應義塾大学助教授
1976 年　慶應義塾大学教授
1997 年　慶應義塾大学名誉教授
1997 年　日本工業大学教授
2002 年　日本工業大学客員教授
2005 年　退職

電気回路基礎ノート
Basic Electrical Circuits

© Shinsaku Mori 2006

2006 年 11 月 2 日　初版第 1 刷発行
2020 年 3 月 5 日　初版第 5 刷発行

検印省略

著　者　森(もり)　真(しん)　作(さく)
発 行 者　株式会社　コロナ社
代 表 者　牛来真也
印 刷 所　壮光舎印刷株式会社
製 本 所　株式会社　グリーン

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 978-4-339-00786-2　C3054　Printed in Japan　（高橋）

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。