

まえがき

電気回路は、照明や冷蔵庫などの家電製品だけでなく、携帯電話などの通信機器、パソコンなどの情報機器、体温計などの計測器、さらにはロボットや自動車など、多くのところで使われています。ここで、もしも停電が続いたらどうなるか想像してみてください。電灯が点かないので、夜は暗くなり、エアコンはもちろん、食べ物も冷蔵保存ができなくなります。いかがでしょうか。私たちの現在の快適な生活は、電気回路によって支えられているとさえいえます。

そんな電気回路は一体どのような仕組みになっているのでしょうか。本書は電気回路の仕組みがしっかりと理解できるよう、つぎの3編に分かれています。

- (1) 【わかる編】
- (2) 【ナットク編】
- (3) 【役立つ編】

【わかる編】では、電気回路の解析方法と設計方法を説明します。電気は機械と違い、目に見えないのでイメージしづらいのが欠点です。そこで、電気を水の流れてイメージして、その物理法則をしっかりと実感できるようにしています。

【ナットク編】では、わかる編でわかったことをしっかりと納得するために、その理論的裏づけを行います。高校数学の知識で理解できるように丁寧に解説しています。

【役立つ編】では、電気回路の実例と応用例を紹介します。身の回りで電気回路が実際に役立っていることを実感できるように説明しています。

筆者は、企業のメカトロニクス技術者として10年間、大学の電気回路の教員として10年以上の間、電気回路に関係する研究と教育を続けています。この経験に基づいて、高校数学の知識で電気回路をマスターできるようにしています。

なお、本書の内容の一部は文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の（平成24年～平成26年）助成を受けました。

2015年3月

小坂 学

目 次

—— Part I 【わかる編】 ——

1. 電気回路と水の流れを「わかる」

1.1 抵抗 R と水の流れ	1
1.1.1 電力と電力量とは	4
1.1.2 抵抗のエネルギー	5
1.1.3 ア　　ー　　ス	5
1.1.4 キルヒホッフの法則	6
1.1.5 抵抗の直列接続と並列接続	8
1.2 コイル L と水の流れ	14
1.2.1 コイルの物理法則	14
1.2.2 コイルは水車と同じ	17
1.2.3 コイルの抵抗値	18
1.2.4 コイルのエネルギー	19
1.3 コンデンサ C と水の流れ	20
1.3.1 コンデンサの物理法則	20
1.3.2 コンデンサはゴム風船と同じ	21
1.3.3 コンデンサの抵抗値	22
1.3.4 コンデンサのエネルギー	24
1.4 RLC と水の流れのまとめ	25
1.5 電 気 の 単 位	25
1.6 電気回路図の記号	27
1.7 抵抗・コイル・コンデンサの外観と読み方	29
1.7.1 カラーコードの読み方	29
1.7.2 コンデンサとコイルの読み方	30

2. 直流回路を「わかる」

2.1 電圧計・電流計・オーム計	32
2.1.1 電流計	32
2.1.2 電圧計	33
2.1.3 オーム計	35
2.1.4 ブリッジ回路	35
2.2 電池	38
2.2.1 電池の内部抵抗	39
2.2.2 電池の直列接続	40
2.2.3 電池の並列接続	41
2.3 キルヒホッフの法則による回路解析	42
2.3.1 電流源と電圧源の等価な変換	42
2.3.2 網目解析	44
2.3.3 節点解析	48
2.4 電気回路の他の定理	50
2.4.1 重ね合わせの原理	50
2.4.2 鳳・テブナンの定理	53
2.4.3 ノートンの定理	54
2.5 直流回路の電力	54
2.5.1 RLC の消費電力	54
2.5.2 RLC のエネルギー	55
2.5.3 抵抗の発熱による水温上昇	57
2.5.4 RLC の定格など	57

3. 交流回路を「わかる」

3.1 正弦波交流回路の解析	59
3.1.1 正弦波交流とは	59
3.1.2 正弦波交流と RLC	64
3.1.3 複素数表示	65

3.1.4	RL 直列回路	70
3.1.5	RC 直列回路	72
3.1.6	RL 直列回路と RC 直列回路によるフィルタ	73
3.1.7	RLC 直列回路 (直列共振回路)	77
3.1.8	RLC 並列回路 (並列共振回路)	83
3.1.9	実際の RLC 並列回路 (並列共振回路)	85
3.2	交流回路の電力	88
3.2.1	実効値	91
3.2.2	正弦波交流の平均値	92
3.3	変圧器	93

4. 三相交流回路を「わかる」

4.1	三相交流回路の解析	96
4.1.1	Y 結線の電圧と電流	97
4.1.2	Δ 結線の電圧と電流	100
4.2	Y 結線と Δ 結線の変換	101
4.3	三相交流回路の電力	102

5. 二端子対回路を「わかる」

5.1	二端子対回路とは	107
5.2	Z パラメータ	108
5.2.1	Z パラメータとは	108
5.2.2	Z パラメータと直列接続	110
5.3	Y パラメータ	113
5.3.1	Y パラメータとは	113
5.3.2	Y パラメータと並列接続	116
5.4	h パラメータ	118
5.5	F パラメータ	119
5.5.1	F パラメータとは	119
5.5.2	F パラメータと縦続接続	120
5.6	相反性	122

5.6.1 相反性とは	122
5.6.2 相反性とパラメータ	123

—— Part II 【ナットク編】 ——

6. わかる編を理論的に裏づけて「ナットク」する

6.1 高校数学とその応用を「ナットク」する	124
6.1.1 一次方程式とベクトル	124
6.1.2 連立一次方程式と行列	125
6.1.3 行列の足し算と引き算	126
6.1.4 行列の定数倍	127
6.1.5 行列の掛け算	127
6.1.6 1 の行列	129
6.1.7 行列の割り算	129
6.1.8 三角関数	132
6.1.9 複素数	134
6.1.10 オイラーの公式	138
6.2 2章の直流回路を「ナットク」する	139
6.2.1 重ね合わせの原理の証明	139
6.2.2 鳳・テブナンの定理の証明	141
6.3 3章の交流回路を「ナットク」する	143
6.3.1 共振の鋭さ Q と角周波数	143
6.3.2 瞬時電力 $p(t)$ の平均値などの計算	145
6.3.3 複素数表示と有効電力・無効電力・皮相電力	146
6.3.4 正弦波交流の平均値	147
6.4 4章の三相交流回路を「ナットク」する	147
6.4.1 位相が 120° ずつずれた正弦波の和がゼロになることの証明	148
6.4.2 三相交流の Y 結線の線間電圧と相電圧	148
6.4.3 三相交流の Δ 結線の相電流と線電流	150
6.5 5章の二端子対回路を「ナットク」する	151

— Part III 【役立つ編】 —

7. これまで学んだ電気回路が「役立つ」

7.1 直流回路が役立つ	154
7.1.1 電気ポットで水が沸く時間	154
7.1.2 ひずみゲージとブリッジ回路によるひずみ計測	155
7.2 交流回路が役立つ	158
7.2.1 直列共振回路によるテレビやラジオの選局への応用	158
7.2.2 変圧器と送電	159
7.3 三相交流が役立つ	162
7.4 二端子対回路が役立つ	163
7.5 伝送で役立つインピーダンス整合	165
7.5.1 供給電力の最大化	165
7.5.2 電源が内部抵抗 r をもつとき	165
7.5.3 電源が出力インピーダンス Z をもつとき	167
7.5.4 インピーダンス変換	168
7.6 ノイズ除去で役立つフィルタ	170
7.6.1 フィルタとは	170
7.6.2 RC 直列回路と RL 直列回路による LPF と HPF	173
7.6.3 RC 直列回路と RL 直列回路による他のフィルタ	173
7.6.4 ツイン T ノッチフィルタ	175
引用・参考文献	178
索引	179

— Part I 【わかる編】 —

1 | 電気回路と水の流れを「わかる」

本編では、電気回路を解析する方法を理解しよう。

電気回路の応用例は、照明、炊飯器、エアコン、テレビ、パソコン、ケータイ、ロボット、自動車などたくさんある。また、電気回路は工学の最も基礎となる技術の一つであり、その応用は計測工学、工学実験、制御工学、フィルタ、電力工学、ロボット工学、自動車工学など多岐にわたる。

物質を分割し続けると、これ以上の分割が困難な粒になる。この粒を原子という。原子は原子核と電子からなる。電子が移動すると電気が流れる。この電気の流れを電流 (current) という。電気を流そうとする圧力を電圧 (voltage) という。銅やアルミニウムの電子は自由に移動することができる。この性質をもつ物質を導体 (conductor) といい、導体でつくられた線を導線 (conducting wire) という。空気やガラスの電子は自由に移動できない。この性質をもつ物質を絶縁体 (insulator) という。絶縁体に非常に大きな電圧がかかると突然、電気が流れる。例えば雷がそうである。電気の流れと水の流れは似ている。そこで、電気回路を水の流れに置き換えてイメージしよう。

1.1 抵抗 R と水の流れ

図 1.1 に豆電球の電気回路と、その電気の流れを水の流れに置き換えた例を示す。豆電球は、電気的には抵抗 (resistance, 電気抵抗) という素子の性質をもつ。電圧 V を抵抗にかけたときに流れる電流を I とする。乾電池を増やして

2 1. 電気回路と水の流れを「わかる」

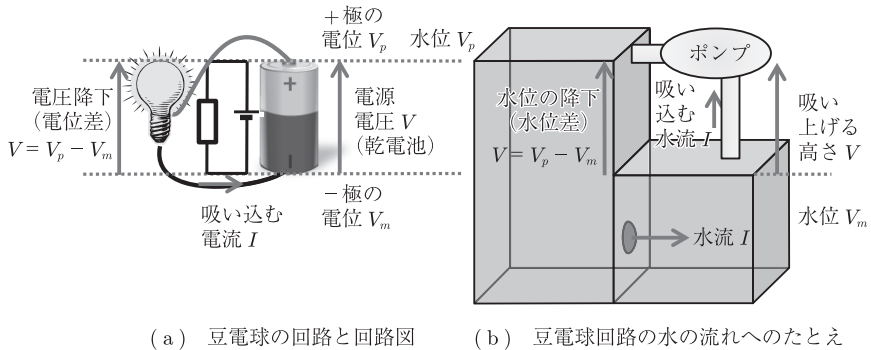


図 1.1 電気と水の流れの類似性

V を変えたときの I を測り、グラフを書くと V と I とは比例する。比例定数を R とすると

$$\text{オームの法則 } V = RI \quad (1.1)$$

となる。1826 年にドイツのオームが公表したので、**オームの法則** (Ohm's law) という。比例定数 R は抵抗の値である (抵抗を表す記号としても R をよく用いる)。

オームの法則を水の流れに置き換えて、そのイメージをつかもう。図 1.1 (b) の二つの水槽を考える。電源 (power supply, 乾電池) は水のポンプに相当し、右の水位 V_m の水槽の水を、左の水位 V_p の水槽まで吸い上げる。その水位差 V は

$$\text{水位差 } V = V_p - V_m \quad (1.2)$$

である。図 (b) の水位差の場合、水が左から右の水槽に流れようとする圧力が水槽間に発生する。これを水圧という。電気回路では、水位を電位 (potential)、水位差を電位差 (potential difference)、水圧を電圧という。電気では電位差と電圧とは等しい単位である。一つの水槽内の水位は当然、どこでも等しい。同じように一つの導線の電位はどこでも等しい。電気回路図の電位差を表す矢印は、低いほうから高いほうに向けて書く。また、本書では、一定の値の物理量を表す記号は大文字のアルファベットを、変化する場合は小文字を用いる (例外

もある)。電源には導線とつなげる部分が二つある。これら二つのうち、電位が低いほうをマイナス極、高いほうをプラス極という。マイナス極の電位 V_m を 0 とすることが多いが、どこかの電位を 0 にとっても電位差 V は変わらない。水位 V_p から水位 V_m の間は仕切り板で隔たれているが、板の円の部分は目の細かい布であり、水圧がかかれば水が押し流れる。水流 I は、流れる水の速さであり、電流 I に相当する。抵抗である豆電球は仕切り板の布に相当し、電流が流れると光る。

水位差 V がゼロのときは水が流れないので水流 I もゼロである。そして水位差 V が大きくなるほど、水流 I も大きくなる。つまり、 V と I とは比例することをイメージできる。その比例定数を R とすると、オームの法則になる。

非常に大きな水圧をかけると、布が破れて I が非常に大きくなる。電気も同じで非常に大きな電圧をかけると、抵抗が壊れて大電流が流れる。水の流れでは、抵抗は仕切り板の布の水の流れにくさであり、水流に対する摩擦と考える。例えば V が一定のとき、仕切り板の布部分の円を小さくして抵抗 R が 10 倍になると、流れる電流 I が減って $\frac{1}{10}$ 倍になる。つまり抵抗が大きいほど電流が流れにくくなる。

以上の電気から水の流れへの置換えをまとめる。

置換え 1: 電圧 V は水圧 (単位面積当りの水を流す “力”)

置換え 2: 電流 I は流れる水の速さ

置換え 3: 抵抗 R は水の流れに対する摩擦で、オームの法則 $V = RI$ が成立

これらによって電気回路を水の流れに置き換えてイメージしてほしい。ただし、つぎの点で電気と水の流れとは異なるので、注意が必要である。

注意 1: 水の質量はゼロ (電気は電子の移動であり、電子の質量が非常に小さいため)

注意 2: 水槽の水位 (水圧) が変わっても中の水の体積は変化しない (導線から出る電子の数と入る数とは等しく、導線内の電子の数が増えないため)

注意 2 について、図 1.1 (b) では左の水槽のほうが体積が大きいですが、これは電

4 1. 電気回路と水の流れを「わかる」

気ではありえない。実は、水槽よりも、パイプの中を水が流れるモデルのほうが実際の電気に近い。なぜならパイプの中の水の体積は変わらないため、注意2を満足するからである。しかしパイプの図では水圧がわからない。水槽モデルでは水圧を水面の高さで視覚的にわかりやすく表現できる。

オームの法則 $V = RI$ とよく似た機械系の物理法則として粘性摩擦力がある。

水圧 V は粘性摩擦力 f ,

水流 I は速度 v ,

水の流れにくさ R は粘性摩擦係数 d

として、 $V = RI$ に代入すると、つぎの粘性摩擦力の式が得られる。

$$V = RI \rightarrow \text{粘性摩擦力 } f = dv \quad (1.3)$$

水鉄砲は出る水の速度と、棒を押す力とが比例するので、粘性摩擦力を発生する。ダンパも同じ仕組みで、ばねとともに自動車のサスペンションとして用いる。サスペンションは車体とタイヤの間に取り付けられ、タイヤの振動を吸収して車体が揺れないようにする働きがある。

1.1.1 電力と電力量とは

物体に一定の力 f を加えたことによって、変位 x だけ移動したときの仕事 E は

$$E = fx \quad (1.4)$$

である。仕事をする能力をエネルギー (energy) といい、 E の仕事をするためにエネルギーが E だけ必要である。仕事 E の時間微分を仕事率 P という。 E が一定ならば P は1秒になす仕事である。式 (1.4) より

$$\begin{aligned} P &= \frac{d}{dt} E = \frac{d}{dt} (fx) = f \frac{d}{dt} x \quad \leftarrow f \text{ は一定} \\ \therefore P &= f \dot{x} \quad \leftarrow \frac{d}{dt} x \text{ を } \dot{x} \text{ と書いた} \end{aligned} \quad (1.5)$$

となる。 $P = f\dot{x}$ に p.3 の電気への置換え「力 $f \rightarrow$ 電圧 V 」, 「速さ $\dot{x} \rightarrow$ 電流 I 」をすると

$$\text{電力 } P = VI \quad (1.6)$$

となる。電気では仕事率のことを電力 (power), 仕事のことを電力量 (electric energy) という。 P は E の時間微分なので, E は P の時間積分である。時刻 0 から T まで P を積分するとつぎのようになる。

$$\text{電力量(エネルギー)} E = \int_0^T P dt \quad (1.7)$$

1.1.2 抵抗のエネルギー

式 (1.6) の V にオームの法則 $V = RI$ を代入すると抵抗の電力を得る。

$$\text{抵抗の電力 } P = RI^2 \quad (1.8)$$

この P を式 (1.7) に代入すると抵抗の電力量 (エネルギー) を得る。

$$E = \int_0^T RI^2 dt \quad (1.9)$$

電気ストーブや湯沸かし器などのヒータは電気回路では抵抗であり, 電気エネルギーを熱エネルギーに変換する。抵抗自身が耐えられる限界の電力を定格電力 (rated power) という。定格電力を超える電力が加わると, 抵抗値が変化し, ひどい場合は破損したり燃えたりしてしまう。

1.1.3 アース

大地の電位を 0 とすることが多く, そうすることをアース (earth, 接地, グランド) するという。濡れた人体は電気をよく通すため, 電位差をもつ部分に接触すると感電して危険である。濡れた床に裸足で触れ, 洗濯機の濡れた部分に手を触れたとき, もしも洗濯機と床の間に電位差があると感電してしまう。洗濯機の金属部分に接続した導体を地中に埋め込むことをアース接続という。床

6 1. 電気回路と水の流れを「わかる」

に触れている人体は大地と同じ電位なので、アース接続によって人体との電位差をなくし、感電を防ぐことができる。

三つの穴がある電源コンセントには、アース接続されたアース線がつながっている。日本の電源コンセントの電圧は 100 V だが、世界の多くの国では 200 V 以上であるので、アースしなければ大事故につながるが多い。

1.1.4 キルヒホッフの法則

キルヒホッフの法則 (Kirchhoff's law) は、1845 年にドイツのキルヒホッフが実験して発見した。この法則は、あらゆるすべての電気回路で成立する。また、この法則はマクスウェル方程式から導かれることが知られている。

図 1.2 (a) の電気回路を、水の流れに置き換えた図 (b) の水流モデルで、キルヒホッフの法則を理解しよう。

〔1〕 キルヒホッフの電流則 図 (a) の回路の黒丸●の箇所では、導線が枝分かれしている。この箇所 (および、そこにつながっている導線すべて) を節点 (node) という。図 (b) の水流モデルでは、真ん中の水槽が節点である。いま、真ん中の水槽の水位が一定のとき、 R_1 、 R_2 から流れ込む水流の合計 $I_1 + I_2$ と、 R_3 から流れ出す水流 I_3 とは等しい。もしそうでなければ真ん中の水槽の水位が変化してしまうからである。つまり図 1.2 では

$$I_1 + I_2 = I_3$$

が成り立つ。これを電気に当てはめると

節点に流れ込む電流の合計 = その節点から流れ出す電流の合計

が成り立つ。これをキルヒホッフの電流則 (Kirchhoff's current law) または第 1 法則といい、すべての節点で成立し、枝分かれが二つ以上あっても成立する。

電気の場合、水槽内の水の体積に相当する量は、導線の枝分かれした部分の電子の数であり、変化しない (p.3 の注意 2)。そのため、電位が変化している過渡状態であっても、電流則は成立する。

	【さ】	進 み	62	短 絡	29
サイズ	126	スター回路	109		
鎖交磁束数	16	スター結線	97	【ち】	
サセプタンス	70	スターデルタ変換	163	中性点	96
三角関数	132	ストレイナージュ	155	中性点電位	96
—の加法定理	134			重畳の理	50
三角結線	100	【せ】		直流電圧源	27
三角波	59	正弦波	59	直列共振	84
三相交流	97, 162	正弦波交流	59, 60	直列共振回路	77, 78, 158
三相電源	97	—を解く手順	68	直列接続 (電圧源の)	41
三相負荷	97	静電容量	21	直列接続 (電池の)	41
		絶縁体	1	直列接続 (二端子対回路の)	
		絶対値 (複素数の)	136		110, 111
		接 地	5	直交形式 (複素数の)	138
		節 点	6		
【し】		節点解析	48	【つ】	
磁気抵抗	16	節点電位法	48	ツインTノッチフィルタ	175
自己インダクタンス	16	線間電圧	98		
仕 事	4	線 形	51, 140	【て】	
仕事率	4	線電流	99	定格電圧	24, 58
次 数	124			定格電流	19, 58
自然放電	38	【そ】		定格電力	5, 58
磁 束	15	相互インダクタンス	93	抵 抗	1
実効値	91	送 電	159	抵抗計	35
実 軸	137	相電圧	97	テブナンの定理	53
実 部	135	相電流	99	デルタ回路	114
周 期	59, 61	相 反	123	デルタ結線	100
縦続行列	119	相反性	123	電 圧	1, 2
縦続接続 (二端子対回路の)	120, 121	増 幅	118	電圧計	33
		ソレノイド	14	電圧源	27
周波数	60			電 位	2
主磁束	94	【た】		電位差	2
出力インピーダンス	40	耐 圧	24, 58	電 荷	20
純虚数	135	対角要素	129	電気抵抗	1
瞬時電力	88	対称三相交流	97	電気と水の流れの対比	25
消費電力 (コイルの)	55	耐電圧	24, 58	電気容量	21
消費電力 (コンデンサの)	55	太陽電池	38	電気量	20
消費電力 (抵抗の)	54	単 位	25	電 源	2
ショート	29	—の接頭語	26	電磁石	14
磁力線	14	単 位 (電気の)	26	伝送行列	119
振 幅	60	単位行列	129	伝達関数	74
		端子電圧	40	電 池	38
【す】		単相交流	96	電 流	1, 3
スイッチ	29				
スカラ	129				

電流計	32
電流源	27
電流源と電圧源の変換	43
電力	5
電力(抵抗の)	5
電力量	5
電力量(抵抗の)	5
【と】	
等価電圧源の定理	53
導線	1
導体	1
同調回路	158
トランジスタ	118
トランス	93, 169
【な】	
内積	124
内部抵抗	33
【に】	
2ゲージ法	157
二次電池	38
二次HPF	174
二次LPF	174
二端子対回路	107
入力インピーダンス	34
ニュートンの運動方程式	17
【ね】	
熱エネルギー	57
熱エネルギー(水の)	57
熱電池	39
熱量	57
粘性摩擦係数	4
粘性摩擦力	4
燃料電池	38
【の】	
ノコギリ波	59
ノッチフィルタ	172, 175
ノード解析	48
ノートの定理	54

【は】	
ハイパスフィルタ	73, 75, 171
ハイブリッド行列	118
ハイブリッドパラメータ	118
掃き出し法	131
パッシブフィルタ	173
ばね・マス・ダンパ系	81
ハム音	172
バランス条件	37
パルス波形	59
パルス幅変調	119
反共振	84
バンドエリミネーション フィルタ	172
バンドパスフィルタ	170
【ひ】	
ひずみ	155
ひずみゲージ	155
皮相電力	88, 90
非対角要素	129
非対称三相交流	97
比熱	57
微分回路	76
【ふ】	
ファラデーの電磁誘導の 法則	16
ファンダメンタル行列	119
フィルタ	73, 170
フェーザ表示	69, 138
複素数	135
複素数表示	65, 69
複素平面	69, 137
フックの法則	22
ブリッジ回路	35
分圧	10
分流	13
【へ】	
平均値	92

平衡条件	37
並列共振	84
並列共振回路	83, 85, 88, 159
並列接続	116
並列接続(電圧源の)	42
閉路	7
閉路解析	44
ベクトル	124
ベルチエ素子	39
変圧器	93, 159
偏角(三角関数の)	132
偏角(複素数の)	137
変成器	93, 169
【ほ】	
ホイートストーンブリッジ 回路	35
鳳・テブナンの定理	53, 141
星形結線	98
ポリウム	28
【む】	
無効電力	88-90
【め】	
メッシュ解析	44
【も】	
漏れ磁束	94
漏れ電流	23
【ゆ】	
有効電力	88-90
誘電率	21
誘導性インピーダンス	70
有理化	137
【よ】	
余因子行列	131
要素	124
容量性インピーダンス	70

4 端子回路	107			列	126
【り】		【る】		列 数	126
リアクタンス	70	ループ	7	列ベクトル	124
力 率	88, 90	ループ解析	44	連立一次方程式	125
理想トランス	95	ループ電流	7	【ろ】	
理想変圧器	95	【れ】		ローパスフィルタ	73, 170
		レジスタンス	70		

【A】		【I】		【T】	
ABCD パラメータ	119	Im	135	T 回路	109
A-D 変換器	33	【L】		tan	132
【B】		LPF	73, 170	tan ⁻¹	132
BEF	171	【P】		T- π 変換	163
BPF	170	PWM	119	【Y】	
【C】		【Q】		Y 回路	109
cos	132	Q	80	Y 行列	113
【E】		Q 値	80	Y 結線	97
emf	40	【R】		Y 結線の回路	109
eneloop	38	RC 直列回路	72	Y パラメータ	113
【F】		Re	135	Y パラメータ (Δ 回路の)	115
F 行列	119	RL 直列回路	70	Y- Δ 変換	163
F パラメータ	119	RLC	57, 58	【Z】	
F パラメータ (理想トランスの)	169	RLC 直列回路	77	Z 行列	108
【H】		RLC 並列回路	83, 85	Z パラメータ	108
h パラメータ	118	【S】		Z パラメータ (Y 回路の)	110
HPF	73, 171	sin	132	【ギリシャ文字】	
				Δ 回路	114
				Δ 結線	100
				—の回路	114
				π 回路	114

— 著者略歴 —

- 1989年 大阪府立大学工学部電子工学科卒業
1991年 大阪府立大学大学院工学研究科博士前期課程修了
(電子工学専攻)
1991年 ダイキン工業株式会社 電子技術研究所
～
2001年
1999年 大阪府立大学大学院工学研究科博士後期課程修了
(電気情報系専攻)
博士(工学)
2001年 近畿大学講師
2006年 近畿大学助教授
2011年 近畿大学教授
現在に至る

高校数学でマスターする 電気回路

— 水の流れて電気を実感 —

Electric Circuit Based on High School Math

— Using Analogy between Electricity and Water Flow —

© Manabu Kosaka 2015

2015年4月30日 初版第1刷発行



検印省略

著者 小坂 学
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 978-4-339-00876-0 (金) (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