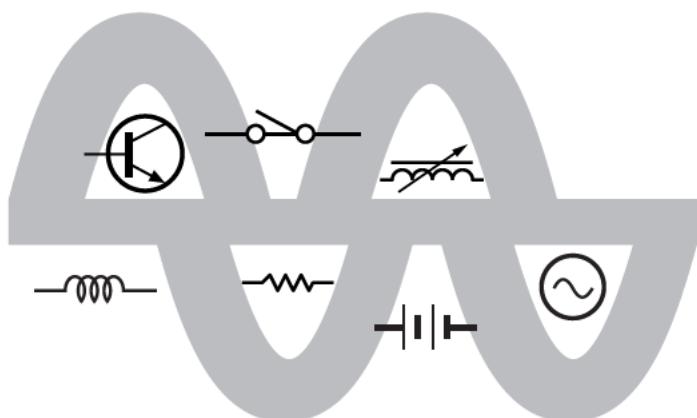


NO.1

水とよく似た電気の性質

監修／職業能力開発総合大学校 福祉工学科 教授 塩田 泰仁
執筆／石川島播磨重工業 鈴木 康夫



コガク

第1分冊 水とよく似た電気の性質



目 次

講座のねらい i

第1分冊 学習のねらい 1

第1週 オームの法則の本質を知る

第1週の学習のポイント	3
1.1 電気とは（電気小史）	4
1.2 電気の基本三要素と水路	7
1.3 オームの実験式は「 $I = V/R$ 」ではなかった	9
1.4 意外と大きい電圧降下の影響	12
1.4.1 固有抵抗	12
1.4.2 電圧降下と電位	13
1.4.3 線路の電圧降下	13
1.5 “I”は何の略？	16
1.5.1 電気量	16
1.5.2 記号の由来	17
1.5.3 電流の役割	18
1.6 電路回路と水路の異なる点	19
第1週のまとめと練習問題	20

第2週 抵抗回路

第2週の学習のポイント	23
2.1 抵抗の単位と記号	24
2.2 負荷・電力・電力量	26
2.3 負荷を並列接続する	28
2.4 負荷の直列接続	29
2.4.1 電球の直列接続	29
2.4.2 接続不良	31
2.5 抵抗と回路網	32
2.5.1 抵抗の直列回路	32
2.5.2 抵抗の並列回路	33

2.5.3 抵抗の直並列回路	35
2.5.4 回路網を解く簡便な手法	38
2.6 入力インピーダンスと出力インピーダンス	40
2.6.1 信号伝送回路	40
2.6.2 電圧計をつなぐ	41
2.6.3 凤・テブナンの定理	42
2.7 最大電力を供給できるインピーダンス・マッチング	46
第2週のまとめと練習問題	47

第3週 コンデンサの性質

第3週の学習のポイント	49
3.1 コンデンサの仕組み	50
3.2 コンデンサは水路のタンク	53
3.2.1 コンデンサの充電作用と時定数	53
3.2.2 コンデンサの放電作用	58
3.3 コンデンサの蓄積エネルギー	60
3.3.1 水路との比較	60
3.3.2 ワット・セカンド	61
3.4 コンデンサの並列と直列はこう考える	63
3.4.1 コンデンサの並列接続	63
3.4.2 コンデンサの直列接続	63
第3週のまとめと練習問題	67

第4週 コイルの性質

第4週の学習のポイント	69
4.1 コイルは慣性のみの水車と同じ	70
4.2 電流と磁束と自己インダクタンス	72
4.3 電磁エネルギー	75
4.4 コイルの用途と逆起電力の防止	77
4.5 強い電磁石を作るには	80
4.6 コイルはなぜ鉄心を引き込むのか	82
第4週のまとめと練習問題	84

STEP UP	86
参考文献	88
練習問題の解答	90

▶ 第1週

→ オームの法則の 本質を知る ←

1.1 電気とは（電気小史）
1.2 電気の基本三要素と水路
1.3 オームの実験式は
「 $I=V/R$ 」ではなかった
1.4 意外と大きい電圧降下の影響
1.5 「I」は何の略？
1.6 電気回路と水路の異なる点

||||| 第1週の学習のポイント |||||

電気や磁気の示す不思議な性質は、ギリシア時代から研究の対象であった。しかし、電気と磁気の相互作用を本格的に研究し始めたのは、ヴォルタが電池を発明し、動電気を定常的に取り出せるようになった 1820 年頃からである。成功・失敗を含め、研究にたずさわっていた当時の人々は、いろいろな推論と実験を試みていたわけだが、これらをつづった歴史は電気を学ぶ人の心に通じるものがあり、参考にならないはずはない。このことから、第1週でははじめに簡単な電気の歴史を記した。電流と電子の向きについての話がポイントになっている。

続いて本論に入り、次の点を目標に記述されている。

- ・水路と電路の類似点を知る。
- ・水路と比較しながら電位について正しい認識を持つ。
- ・オームの実験を通して電源内部抵抗の影響を知る。
- ・線路の電圧降下の影響を知る。
- ・抵抗における固有抵抗の関連を知る。
- ・電流の役割を認識する。
- ・水路の模擬の限界を知る。

1.1

電気とは（電気小史）

われわれの身近な経験からも、電気と磁気の間にはある特殊な関係があるのではないかと想像されると思う。

実はギリシア時代においても、装飾品として愛用されていたコハク玉をこするとそれが軽い物質を吸い付けることや、ある種の自然石が鉄を吸い寄せる事実に異常な興味を持たれ、この謎めいた現象を哲学者のターレス(BC.624～548)らが研究していた。しかし、これらが今日でいう静電気力や磁気力によるものであることは、当時はもちろん一人として知るよしもなかった。

また、突然に閃光と轟音によって我々を恐怖のどん底に突き落とすあの落雷現象についても、洋の東西を問わず多くの人々に多大な関心を与えたに違いないが、その本質が、あの有名なベンジャミン・フランクリンのたこ上げの実験(1752年)によるまでは、電気現象であることは誰もわからなかった。

このように、電気作用や磁気作用は、身近に存在していたものであるが、これらについて本格的に研究されるようになったのは、比較的新しい1700年代になってからである。そして、これらがいずれも電子の振舞いであることがわかったのは、やっと100年前のことなのである。

図1.1のように、「すべての原子は中心に原子核を持ち、それを囲むようにいくつかの

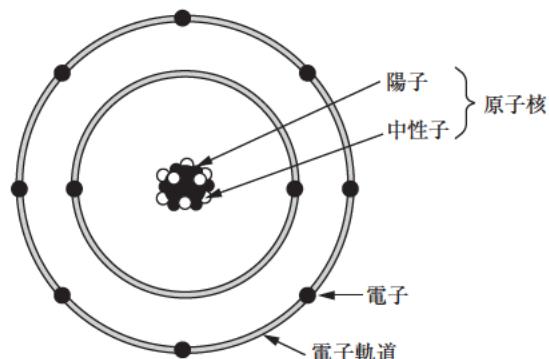


図1.1 原子模型

軌道があるて、そこを非常に小さな粒のような電子が回っている』というモデルを中学校で学んだであろう。実際には、厳密にいうと電子はスピン（回転）をしているとか、波のような性質を持っているとか、回っている軌道も単純な円ではないとか、いろいろと難しい話があるのだが、ここでは中学校で習ったような、簡単なモデルで考えることにする。

金や銀、鋼や鉄といった電気をよく通す金属の原子では、いくつかある電子の軌道のうち最外周のものだけはすべての原子間でつながっており、したがってそこにあった電子は金属体中を自由に移動している。このような電子を**自由電子**と呼ぶことはどこかで聞いたことがあると思う。

電線の中にはこのような電子がいっぱい詰っているから、両端に電圧（正しくは電界）を与えると自由電子は+側に引き寄せられて移動し、また-側からは電子がどんどん注入されるから、電圧が与えられている限り連続した電子流が流れることになる。これが“電流”的本の姿である。

ところで私たちは、「電流は電源の+側から出て、-側に戻るように流れる」と習ったはずである。しかるに、電流の本質である電子流はいま述べたように、まったく逆の「電源の-側から出て、+側に流れ込む」というのだから、大変な矛盾のように思える。実際、筆者も初めは大いにとまどった記憶がある。

なんで、こんな面倒なことになったのであろうか。それを知るには、電気の歴史をひも解かなければならない。

電気の科学的な研究の歴史は、摩擦電気に始まる。イギリスのギルバート（1540～1603）は、摩擦によって軽い小物体を引き寄せる性質はコハクに限らず、水晶・ガラス・硫黄なども持っていることを示し、これらの物質をコハクの古語にちなんでelectrica（コハク質）と呼んだ。英語のelectricity（電気）はここからきているといわれている。彼は、軽い小物体を引き寄せる性質は、摩擦によって生じた“電気”というものにあると考えたのである。

18世紀の初めにフランスのデュ・フェイ（1698～1739）は、絹でこすったときガラスに発生する電気は、毛皮でこすったときコハクに発生する電気とは異なった性質を持つことを発見し、前者をガラス性電気、後者を樹脂性電気と名づけた。

これに対してフランクリンは、雷電気の研究から、『本来の電気はガラス性電気だけであり、これを各物体がそれぞれ決まっている標準量だけ持つとその物体は電気的に中性であるが、標準量より過剰（プラス）に持つとガラス性電気の性質を示し、標準量より不

■水とよく似た電気の性質■

足（マイナス）すると樹脂性電気の性質を示す』としたのである。このことから、後にガラス性電気を正（陽）電気、樹脂性電気を負（陰）電気と呼ぶようになった。

1800年、イタリアのヴォルタ（1745～1827）の発明になる電池によって電流を定的に取り出せるようになり、ここで初めて電流、つまり“電気の流れる向き”が問題となつた。

いろいろな議論があったが、それに結論を与えたのがフランスのアンペール（1775～1836）であった。1820年の論文の中で『陽電気の流れる方向を電流の方向とみなす』と述べて、ここで明確に電流の向きは“電池の+側（陽極）から-側（陰極）に向かう”と決められたのである。

ところがそれから約80年たった1897年になって、イギリスのトムソン（1856～1940）が陰極線管の研究から電子を発見し、電流の実体は電子の移動であることがわかったのである。

これまで正の電気の移動とばかり思っていた電流が、実はまったく逆の“負の電気を持った電子の移動”であることがわかったわけである。

これらの事実は電気を学ぶうえに不都合で、混乱を招くように思われるかも知れないが、実際には電回路やその応用を考えるのに少しも困ることはない。電子流の向きは特殊な場合のみに考えればよく、電流の向きだけを考えていても通常はほとんど問題は生じないからである。

「電気」の語源

わが国における電気についての初めての記録は、明和二年（1765年）後藤梨春の『紅毛談』においてであった。それによれば“えれきたりせいりてい”といって、「病人の痛むところから火を取る器」として紹介されている。

また「電気」という言葉が初めて登場してくるのは、1851年の川本幸民の『氣海觀欄廣義』の中で“支那人近日電氣と訛す”という記述がなされてからである。

ところで漢字の“電”という字は、本来「いなづま」のことであり、また“雷”はあのゴロゴロという「雷鳴」のことを指すのだと、漢和辞典には書いてある。

有名な相撲取りの「雷電為右衛門」は、これら両方の意味を持った四股名であることになる。しこな

1.2

電気の基本三要素と水路

電気には、絶縁体中に蓄積されて動かないでいる静電気と、電池や発電機から生み出されて自由電子が導体中を走りまわる動電気とがある。

静電気の代表は摩擦電気で、昔はいろいろと研究もされたが、今日ではむしろ電子回路の誤動作の原因として嫌われものになっている。静電気の代表的な応用としては、後でくわしく述べるコンデンサ（蓄電器）がある。

これに対し動電気は、電気回路として扱うもののほとんどがこれであり、一般には“電流”として認識される。

この電流を流す元の力は起電力であり、電流の量を制限するのが抵抗である。これら“起電力”と“電流”そして“抵抗”を電気の基本三要素と呼ぶ。

電気は目に見えないために、そのいろいろな事象を説明するのにどうしても数式や理論の展開が必要になってくる。この理解のためには専門用語の正しい知識が不可欠であるが、目に見えないものの用語をそのまま覚えようとしても無理がある。

筆者の経験からいって、電気の性質にその特性がよく似た“水路”を比較して学ぶのが、理解も早いし本質が早くつかめるようになると思っている。

図1.2のようなモデルを考えてみよう。水は高さの“高い所から低い所”へ流れる性質があり、その水流は水位の差と、水路の抵抗によって決まってくるはずである。

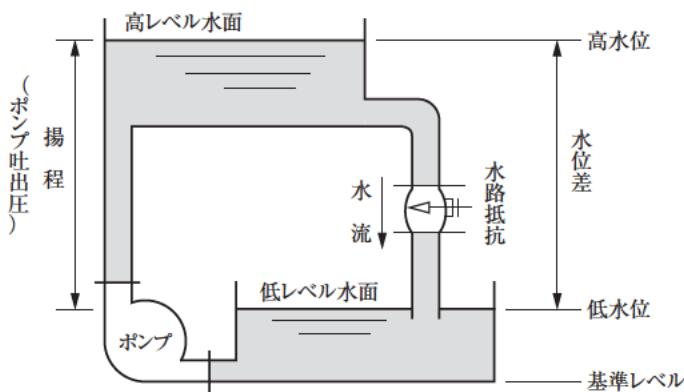


図1.2 水路モデル