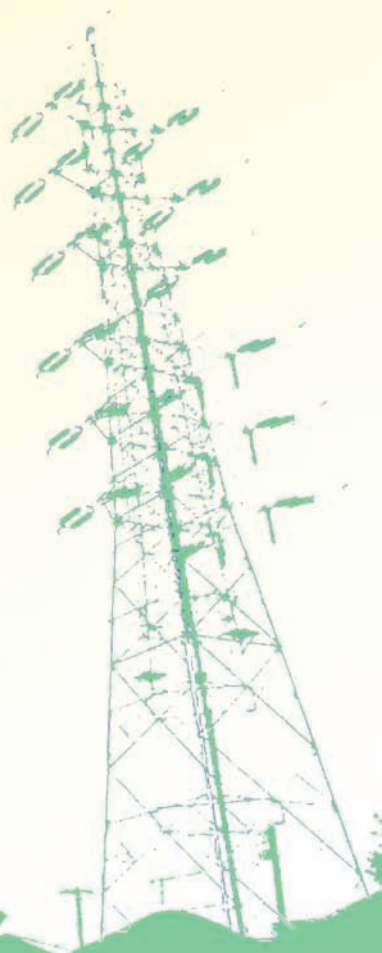


電気の知識を深めようシリーズ Vol.3 2刷

電気の基本を考えてみよう



一般社団法人 電気学会

電気の知識を深めようシリーズ Vol.3 2刷

# 電気の基本を考えてみよう

一般社団法人 電気学会

## まえがき

皆さんの身の回りには、電気を使っているものがたくさんありますね。皆さんは、電気を使えない生活を経験したことがありますか。私たちの暮らしは、電気のおかげで便利で豊かなものになっています。その便利さは、これからも増してゆくことでしょう。

そのように大切な電気ですが、電気そのものについて皆さんはどれだけ興味がありますか。電気のことをよく分かったら、電気を使う生活がもっと興味深いものになると思いませんか。この小冊子は、そのように思っている「あなた」のために作りました。

# 目 次

まえがき	ii
1 電気をイメージしてみよう	1
電気と血液を並べて考えてみよう	1
電車の運転台をのぞいてみよう	3
テレビを観察してみよう	6
次のステップに進むために	8
2 昔から電気はおもしろかった	10
電気発見の物語	11
電気を科学する	11
単純な関係は美しい	12
電池の発明、そして電気と磁気の関係の発見	15
電気を起こす	17
電気の発見から発明へ、そしてイノベーションへ	19
電信機の発明と電気が伝わる仕組みの理論化	19
発電機・白熱電球の発明と電力事業化	22
交流と直流のどちらが優れているのか	25
志田林三郎と藤岡市助	27
3 電気を正しく書き表す	30
電圧と電流	31
直流と交流	34
電力と電力量	38
4 電気を正しく使う	42

家庭への電気の入口は分電盤	42
電気を安全に使うために気をつけること	45
家の外も見てみよう	49
5 電気エネルギーが伝わるしくみ	51
クイズ	52
本格的に考えよう	54
準備運動-電圧の働き	54
空間中の電界と磁界	57
電気エネルギーが伝わる場所	58

電気の知識を深めようシリーズ

刊行ワーキンググループメンバー 63

### 電気の知識を深めようシリーズについて

電気の正しい知識を深めていただくために企画された本シリーズには、次の7種類の小冊子があります。いずれも「電気」がもっと身近で、おもしろくなる内容です。是非あわせてお読み下さい。

- Vol. 1 電気とは何だろう
- Vol. 2 私たちの身近にある電気
- Vol. 3 電気の基本を考えてみよう
- Vol. 4 電気をつくる
- Vol. 5 電気を送る・配る
- Vol. 6 電気を貯める
- Vol. 7 スマートに安全・確実に電気を使う

# 1 電気をイメージしてみよう

電気は見えませんね。でも人のからだとか、身近にある電気を利用しての装置や器具、例えば電気エネルギーで動く電車とか電波を利用してのテレビとかスマホ、を少し注意することで、電気の存在や働きをイメージすることができます。

## 電気と血液を並べて考えてみよう

電気は発電所で作られて、電線で送られて、家庭やビルや工場でいろいろな形で使われています。その電気を、人のからだのしくみを使って、イメージしてみましよう。

電気の流れ、つまり電流について、人体内の血液の流れを思い描きながら、考えてみます。電気の性質と血液の性質は、まったく同じとは言えませんが、電気の性質をからだのしくみと機能に対応させて考えると、具体的な形でその概念を理解する助けになるでしょう。

血液は、人が生きてゆくために必要なエネルギーの元となる、酸素と栄養分を体中にくまなく運びます。電気も電気エネルギーを、私たちが生活する社会の隅々にまで運びます。生物や機械を問わず、動くためにはエネルギーが必要です。私たちの体を考えてみましょう。歩く、走る、つかむ、書くなどするときには、手足の筋肉が複雑に動いています。これらの筋肉が動くためには、エネルギーの元となる酸素と栄養分が必要です。

人間にとって大事な器官である脳に酸素と栄養分が運ばれ

ないと、生命にかかわる重大な事態にいたることは、よくご存じでしょう。酸素と栄養分は血液によって体の組織や器官に運ばれます。血液を流すために必要になるのが、血管です。心臓から送りだされた血液はさまざまな太さの血管を通して、体のすみずみまで流れてゆき、心臓にもどされます（図1）。

体が動くことかわりに、ロボットや機械が動くことを考えてみましょう。ここでは電気が使われます。すなわち、これらの装置における機

械的な運動は、電気でモーターなどが動くことにより実現されています。モーターは、電線を通してきた電流により回転します。電気エネルギーを運ぶためには、電線が必要になります<sup>1</sup>。

このことから、電線は血管に相当するものと考え、電気が運ばれるイメージをつかみやすくなります。血液の流れを電流に対応させると、電気は血液に似ていると思いませんか。途中で電線が切れてしまうと、電流は流れませんからモーターは止まってしまいます。

人体における血液の循環では、心臓、肺、肝臓、腎臓といった臓器の働きにより、血液が動脈へと押し出され、血液中へ酸

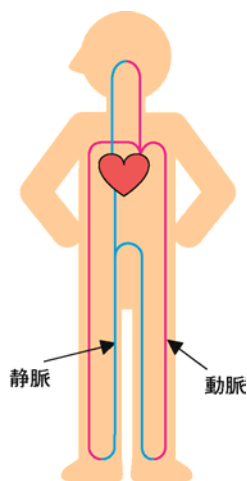


図1 血液は心臓から送り出される

---

<sup>1</sup> もっとも無線通信などでは、電気エネルギーは電波で運ばれるので、電線はかならずしも必要ではありません。

素が供給され、不純物が取り除かれています。心臓はポンプの働きをして、血液を血管内で循環させます。血管を通る血液によって酸素と栄養分が各組織に運ばれ、仕事をして静脈を通して心臓にもどされます。この状態は、電源（発電所や電池）から電線により電気が運ばれる様子と似ています。

原理や構造が異なるので、電気の流れと人体の血液循環とを、正確に対比させることには無理があります。しかし、大事なことは私たちが恩恵にあずかっている電気の働きと、人体の血液循環とは基本的には共通点があるということです。どちらも複雑で多数の要素で作られるという意味で、巨大なシステムであることに間違いはありません。

電気のしくみを理解して、電気を正しく大切に使う姿勢は、エネルギー資源が有限であることを知った私たちが身につけるべきものです。さらに、人体の脳と神経系を、コンピュータと情報通信システムになぞらえると、高度な情報通信技術を活用した、新しい電気エネルギーシステムの理解も容易になります。

## 電車の運転台をのぞいてみよう

電車に乗るとき、先頭車両か最後尾の車両で、運転台をのぞいてみましょう。電車は通常は直流の電気で動く車です。電気（正確には電流）は架線からパンタグラフを介して電車に入ってきて、電気エネルギーとしてモーターを回す仕事をして車輪を回してレールに流れ出ます。架線とレールは発電機につながっていて電圧がかかっているため、電気が供給されます。つま



り、架線とレールという電線に、モーターがつながっているのです。モーターが回転することにより、レールの上に乗った車輪がまわって、電車は走ります。電車を運転するのが運転士、運転する場所にあるのが運転台です。

電車の運転台には、運転するために必要な、いろいろな計器が並んでいますね。その中に図 2 の写真に示すような計器があったら、その指針がどのように動くかを見てみましょう。これは電流計と呼ばれる計器です。電流は電気の流れです。小学校の理科の時間に勉強しましたね。この計器の名前は、もっと正確には直流電流計と呼ばれ、モーターに流れる電流の量を測ります。量の単位はアンペアで、[A] と表記します。

駅に止まっているとき、指針は上を向き、ゼロ(0)を指しています。0A(ゼロアンペア)とは、電流が全く流れていないことを示します。モーターは止まっているわけです。さあ、運転士が操作棒(レバー)を動かしました。電車はゆっく



図 2 電車の運転台

りと動き出します。その時の電流計の針の動きはどうでしょう。そう、ゆっくりではなく、一気に大きく右側に触れましたね。止まっている重たい電車を動かすために、モーターは大きな力を出さなくてはなりません。そうすることで、電車のスピードを上げてゆかなくてはなりません。

電車のスピードがどんどん上がります。それは外の景色を見ても分かりますが、運転台についている速度計を見ても分かりますね。十分スピードが出たときを見はからって、運転士がレバーを元の位置に戻しました。電流計の針は0 A（ゼロアンペア）になりました。モーターに流れる電流はゼロです。でも、電車には勢いがついていますから、慣性でそのまま走り続けます。正確には、車輪とレールの摩擦とか空気抵抗がありますから、徐々にスピードが落ちます。運転士は時々レバーを押して、スピードを上げます。

次の駅が近づいてきました。今度は、電車のスピードを落とさなければなりません。運転士がレバーを制御しました。そのときに、電流計の針はどのように動くのでしょうか。右側の領域からゼロ（0）を超えて、左側の領域に入りました。直流は向きがある電気です。右側の場合、電車は架線から電流を受けて、モーターを回すのに使っています。それが左側の領域に入ると、どういうことでしょうか。そう、おわかりですよ。レールから電車のモーターを通して、架線に電気を戻しているのです。

このとき、モーターは発電機に変身しているのです。発電機は外から機械的な回転のエネルギーをもらって、発電します。この電車の場合は、重たい車体を載せた車輪が回り続けようと

するときに持っている機械的なエネルギーをもらって、それを電気エネルギーに変えているのです。電流は、レールから発電機に変身したモーターを通して、架線に戻っているので、電流計の針は右側の領域（プラス領域）から左側の領域（マイナス領域）に入ります。そのとき、先ほどまでモーターだった機械は、もはや発電機になっているのですから、電気を使って電車を走らす仕事をしているのではなく、発電することで電車にブレーキをかけているのです。電流計の針が左側の領域に入った時、電車のスピードはどんどん落ちてゆきます。架線に戻った電気は、他の電車を動かすために使われます。

皆さんは、自転車を運転していてスピードを落とそうするとき、ブレーキをかけます。自転車のブレーキは、鉄とゴムとか、鉄と鉄をこすり合わせて、自転車の運動エネルギーを熱エネルギーに変えて捨てることで、スピードを落としているのです。電車の運動エネルギーを電気に変えて再利用するなんて、ずいぶん省エネな賢い方法だと思いませんか。このようなブレーキのかけ方を、回生制動といいます。

## テレビを観察してみよう

皆さんは、自宅でテレビをよく見るでしょう。テレビ放送にはいくつもチャンネルがあります。どうやってチャンネルを変えますか。リモコンを使いますね。昔はテレビの前面に回転式のダイヤルが付いていて、それを回すことでチャンネルを変えました。今はリモコンです。

リモコン、そう、リモート（離れたところから）コントロー

ル（操作する）です。テレビとリモコンは電線で結ばれているわけではありません。でもリモコンのボタンを押すと、テレビのチャンネルが変わります。リモコンが出す電気信号が赤外線となって空間に放射され、放射された赤外線をテレビが感知し、チャンネルを変える操作を行うのです。

電波は振動する波です。光だって波です。実は電波と光の領域は、1秒当たりの振動数（周波数と言います）が異なるだけで、連続的につながっています。周波数が低いところから高いところに向けて、どのように使われているかの実例を挙げてみましょう。

家庭のコンセントの電気は、地域によって 50 Hz（ヘルツ）や 60 Hz です。電波時計と呼ばれる時計があるのを知っているでしょう。この時計は受信する電波を使って、表示時刻を作っています。使っている周波数は 40 kHz とか 60 kHz です<sup>2</sup>。ラジオの AM 放送の電波は 526.5～1,606.5 kHz、FM 放送は 76～90 MHz<sup>3</sup>です。テレビはその上、地上波デジタルが 470～710 MHz、BS デジタルは 11.73～12.15 GHz<sup>4</sup>、CS デジタルは 12.29～12.73 GHz、携帯電話はテレビ電波の隙間の 0.7～2 GHz を利用しています。さらに上に行くと、電波望遠鏡や赤外線暖房器具（こたつ、ストーブなど）があります。白熱

---

<sup>2</sup> kHz はキロヘルツと読みます。キロは 1,000 倍を意味しますから、40 kHz は 40,000 Hz、すなわち 1 秒間に 4 万回振動する波を意味します。ちなみに、ヘルツ (Hertz) は電波の研究で大きな成果を出したハインリッヒ・ヘルツ (独、1857-1894) にちなんだ振動の単位です。

<sup>3</sup> MHz はメガヘルツ、メガは 1,000 の 1,000 倍、つまり 100 万倍です。

<sup>4</sup> GHz はギガヘルツ、ギガは 1,000 の 1,000 倍の 1,000 倍、つまり 10 億倍です。GHz の 1,000 倍が THz (テラヘルツ) です。

電球が出す光はそれより高い周波数の、可視光の領域の電波を使っています。可視光より少し低い周波数が赤外線、少し高い周波数が紫外線です。サングラスは紫外線をカットすることで、目を保護しています。病院にあるレントゲン写真とかX線CTとかはそれより高い周波数ですね。癌がんの治療に使う放射線はさらに高い周波数です。これらを、周波数の一本の線で示したのが図3です。

電波は目に見えません。でも、皆さんは電波をイメージできるようになったでしょう。ちなみにこれらの電波は、正確には電磁波と呼ばれます。太陽から放射され、私たちの生存を可能にしている太陽光も電磁波です。

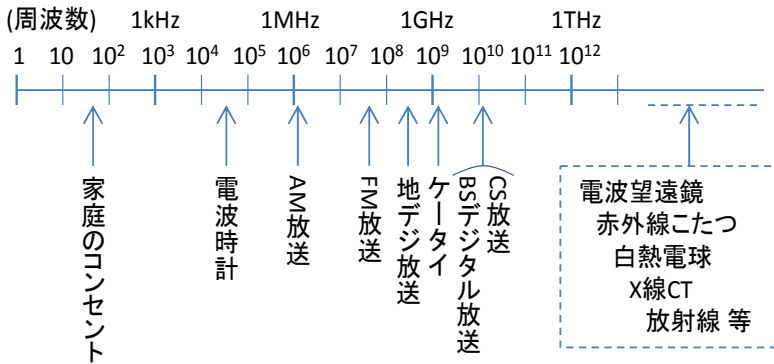


図3 電波や光の使用例

## 次のステップに進むために

皆さんは、電気だけでなく磁気という言葉も知っていますね。

そう、磁石の「磁」のことです。いままで、電気という言葉を使ってきましたが、正確には、電気と磁気の二つを分けて考える必要があります。

まず、電気の性質を示す具体例を挙げましょう。物体の表面が正（プラス）あるいは負（マイナス）の電気を帯びることがあります。この性質はプラスチックの表面で、しばしば観察できます。プラスチック製のフィルムやシートをはがすとき、手にまとわりついたりしますが、この原因はフィルムやシートが電気を帯びたためです。より正確に言うと、それまで一緒にいた正と負の電気が分かれたためです。これは静電気（帯電）と呼ばれるもので、先人により調べられています。

次に磁気の例を挙げましょう。磁気に深い関係のある磁石は、身の回りにたくさんあります。図 4 は方位磁針ですが、皆さんの家で、冷蔵庫に磁石でメモを貼り付けたりしていませんか。モーターはいたるところで使われていますが、そこでも磁石は大活躍です。磁石に二つの磁極、N極とS極があるのは、よくご存じでしょう。磁気は磁極によって作られますが、電流によっても作られます。二つの磁極と電流、両者それぞれが磁気を発生し、さらに磁気と作用すると力が働く、このおかげで、モーターは回るので。

電気と磁気は密接に関係しています。これらを合わせて、簡単に電気と呼んでしまうこともあるのですが、正確には電磁気と呼びま

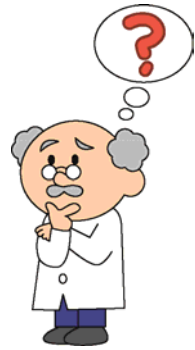


図 4 方位磁針

す。電磁気を研究する学問を電磁気学と呼びます。でも、いつ、だれが、何を研究してきたのでしょうか。そして、人々の生活に役立つ、どんなものを生み出してきたのでしょうか。それを次に見てみましょう。

## 2 昔から電気はおもしろかった

朝になると日が昇り、夕方になると日が沈みます。風が吹き、雨が降ります。周りで起きる様々な自然現象はどうして起きるのでしょうか。現象が起きるには何か原因があると考え、現象を詳しく観察します。複雑な現象は、多数の単純な原因の組み合わせになるまで分けて考えます。こうして自然科学<sup>5</sup>への道が始まりました。



その一方で、人は昔から経験の積み重ねによって発明された技術を使って生活を便利なものにしてきました。便利にする工夫は、昔からあったのです。それが自然科学と結びついたとき、技術は経験に加えて理論の力を借りて飛躍的に発展するようになりました。世の中を変革するイノベーションが、短い間に次々と起こるようになりました。

電気を中心にして、自然科学の発展、技術発明、そしてイノベーションについて考えてみましょう。

---

<sup>5</sup> 自然科学ということばは、比較的新しいことばです。英語では science もしくは natural science といいます。Science という単語が登場するのは18世紀のことで、あのアイザック・ニュートンの時代でさえ、哲学 (philosophy) の一部でした。

## 電気発見の物語

### 電気を科学する

琥珀<sup>こはく</sup>を布でこすると、ほこりを引き付けること、石のなかには、小さな破片を引き付けるもののあること、これらの不思議

な現象は、紀元前 5 世紀頃にはすでに知られていました。しかし、なぜそのようなことが起こるのか、確かめようがないので、いろいろと想像するしかありませんでした。

棒状の磁石を水に浮かべると、南北の方向に向きます。このことを利用した方位磁針は、中国で発明されて西洋に伝わり、大航海時代に船の道案内に利用されました。よく使われるようになると、方位磁針は北の方で使うと下を向く傾向があること、真北（地球の回転軸上の北極）ではなく少しずれた方向（磁北といいます）を指すことなどが、いろいろと分かってきました。

電気や磁気に関する認識が進んだのは 17 世紀です。イギリスのエリザベス一世の侍医であったウィリアム・ギルバート（図 6）は、それまで磁石について伝わっていたいろいろなことを整理し、地球儀を磁石で作っ



図 5 琥珀



図 6 ウィリアム・ギルバート



て方位磁石が北のほうでは下を向くことなどを実験で確かめるなどして、「磁石について」という本を著しました。1600年のことです。

物理学や天文学に関わるさまざまな観測や実験を行ったガリレオ・ガリレイのことは、皆さんも知っているでしょう。このような観測結果から導かれた仮説を理論とし、その理論を実験で確かめる方法をとることによって、科学は大きく花開いたのです。

### 単純な関係は美しい

電気と磁気の現象は、似ているところがあります。近づけると引き付けあったり、反発したりします。電気と磁気は関係があるのでしょうか。

図7のように磁石と磁石を近づけると、引き付けるあるいは反発する強い力を感じます。両者の距離を近づけるとその力は強くなり、離せば弱くなります。

電気を帯びたもの同士も同じです。みなさんは、このことをなんとなく当たり前

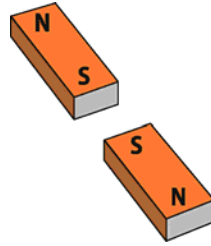


図7 磁石と磁石の間に働く力（この図の場合、反発する力）



図8 シャルル・クーロン

のように思うでしょうが、シャルル・クーロン(図 8)は、図 9 のような捻り<sup>ひね</sup>をもちいた高精度の秤<sup>はかり</sup>を自作して、この引き付けあう、あるいは反発する力と距離の関係を詳しく計ってみようと考えました。そうすると、電気を帯びた二つのものの中に働く力には、次のような関係が成り立つことが分かりました。

$$\text{力} = k \times \frac{\text{電荷の量 (一方のもの)} \times \text{電荷の量 (他方のもの)}}{\text{距離} \times \text{距離}}$$

ただし、

力：電気を帯びた二つのものの中に働く引き合う力もしくは反発する力

距離：二つのものの中の距離

k：比例係数

です。

ここで、記号を使ってこの関係を、式で表してみましよう。

電気を帯びた二つのものの中に働く力を  $F$ 、一つ目のものの電荷量を  $Q_1$ 、二つ目のものの電荷量を  $Q_2$ 、二つの間の距離を  $d$  という記号であらわすものとします。上の関係は、次の

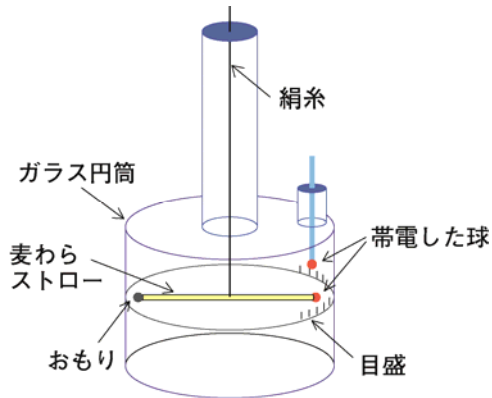


図 9 クーロンの秤

式になります。なお、この式で各種記号の単位を決めてありませんから<sup>6</sup>、比例関係を表す係数として  $k$  を用います。

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{d^2}$$

ずいぶん単純な式ですね。単純な関係は美しいのです。クーロンは、電気を帯びたもの同士が引き付けあったり反発したりする現象を、当たり前と思わずきちんと計測することによって、この美しい関係を見出したのです。1785年のことです。

これは、「クーロンの法則」と呼ばれます。式が出てくると、途端に解らなくなると言う人がいるかもしれませんが、文字で書くより式で表した方が、関係がわかりやすいので、科学者や技術者は式を使います。式をよく見てください。何も難しいこととは言っていません。双方に働く力は、それぞれの電荷の大きさを掛けたものに比例し、逆に距離が遠くなると、力が距離に従ってただ単に弱くなるのではなくて、その二乗で弱くなる。つまりお互いが2倍離れると力は4倍弱くなることを意味しています。

さらに、式で書くともう一ついい事があります。それは計っていないことも予想できることです。例えば、この力はどのくらい遠くまで働くのでしょうか。式を見れば明らかですね。無限に遠くまで働く、ただし働く力は無限に小さくなる、というわけです。

---

<sup>6</sup> 単位を表記する場合の電荷量 $Q$ の単位は、クーロンです。もちろんこれは、シャルル・クーロンの業績をたたえる単位名です。

磁石同士の間に働く力も、全く同じように書けるのです<sup>7</sup>。

$$\text{力} = k \times \frac{\text{磁気}の\text{量}（一方のもの） \times \text{磁気}の\text{量}（他方のもの）}{\text{距離} \times \text{距離}}$$

ただし、

力：磁気を帯びた二つのものの間に働く引き合う力もしくは反発する力

距離：二つのものの間の距離

k：比例係数

です。

### 電池の発明、そして電気と磁気の関係の発見

こんなに似た性質があるのに、両者はまったく別のものでしょうか。お互いに関係はないのでしょうか。多くの科学者が、両者の関係を調べてみましたが、なかなかうまくゆきませんでした。でもついに、道は開かれました。その道を開いたのが、電池の発明なのです。

イタリアの科学者ルイージ・ガルバーニは、解剖したカエルの脚を金属で触ると足がけいれんすることを発見し、動物の体内にある電気のせいだと考えました。同じイタリアの科学者アレサンドロ・ボルタは、その現象に興味を持ちいろいろ実験していたところ、生体がなくても電気が起きることに気付いたのです。

---

<sup>7</sup> 実は、昔からこの式を使っていますが「磁気」については注意が必要です。磁石には必ずS極とN極の両方があって、どちらか一方だけのものは存在しません。この式の分子は、一方だけのものが存在することを意味しているからです。具体的には細長い棒磁石の両先端には孤立したN, Sがそれぞれ存在すると見なしてよいのです。

ボルタは、銅や錫すずなどの異種の金属を、単に湿った紙などを挟んで接触させ、それを図10のように何重にも積み重ねる（パイルといいます）ことによって、定常的に大量の電気を作れることを発見したのです。こうして、人類はいつでも安定して長時間、電気を流すことができるようになりました。これは、科学の進歩にとって、大事件です。

電気を安定して流せれば、いろいろな実験ができるよ

うになります。デンマークのハンス・クリスティアン・エルステッドは、学生に電気や磁気の実験を見せるために準備をしていました。たまたま電線の横には、図11のように方位磁針が置いてありました。電線に電気を流すと、なんと方位磁針が振



図10 「異種の導体の単なる接触により起こる電気」アレサンドロ・ヴォルタ 1800年(金沢工業大学ライブラリーセンター所蔵)

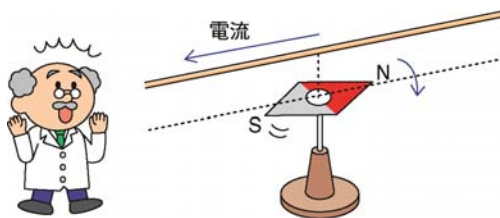


図11 電気で発生する磁気

れるではありませんか。このことは、電線に電気を流す(電流)とその周りには、磁石によって生じる磁気と同じ状態が生じたことを意味しています。電気が流れなければ何も起きない、電気が流れて初めて、磁気を生じたのです。それも電気が流れる方向ではなく、流れる向きとは別の方向(直角の方向)に磁気が生じるという、誰も考えつかない結果でした。こうして、電気から方位磁針の針を動かすもの、つまり磁石と同じ磁界(磁場ともいいます)が発生することが発見されたのです。

安定して電気を流すことができれば、空間内に磁界を発生させることができる。磁界は電線から離れたところに伝わる。流す電流を変化させれば、離れたところの磁界も変化する。その磁界は、距離の二乗に反比例して弱まってしまいはするものの、無限の距離を伝わってゆく。離れたところでその変化を電気信号として検出できれば、元の電流の変化を知ることができる。何か伝えたいことを電流の変化にすれば、それを離れたところに伝えられる。もう、無線の電気通信が実現できそうですね。でも、これだけでは、はるか遠方まで電気の力を伝えるのには、無理があります。無線通信はずっと後になります。それより前に有線の、電線を使った通信が実現されることになるのです。

通信の話に入る前に、そもそも、磁気から電気を発生させることができるのでしょうか。安定的に電気を得る方法としては、電池にいつまでも頼らなければならなかったのでしょうか。

### **電気を起こす**

電気から磁気を発生させられることがわかれば、当然その逆、磁気から電気を発生させることができるかもしれないと、人は

考えます。これについても、多くの科学者は挑戦しました。しかしなかなかうまくゆかなかったのです。

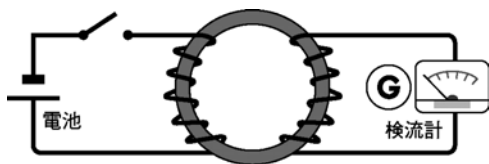


図 12 ファラデーの電磁誘導コイルの模式図

皆さんは小学校の理科の実験で、釘などの周りにエナメル線と呼ばれる電線をぐるぐる巻いて、電磁石を作って電気の実験をしたことがあるかもしれません。エルステッドの発見から、電気が流れると磁気を生じる（磁石になる）ことはわかりましたから、その原理を応用すれば電磁石を考案できます。イギリスの科学者マイケル・ファラデーは、釘の代わりにドーナツ状の鉄の輪に電線をぐるぐる巻いて、電磁石を作りました。

同じドーナツに、さらにもう一組電線をぐるぐる巻きしました。このようにぐるぐる巻きにしたものを、コイルと呼びます。このファラデーが実験に使ったコイルは今も保存されていて、イギリスの電気学会に行くと見ることができます。図 12 はそのコイルの模式図です。

その二つのコイルの一方に電気を流すと、もうひとつのコイルの電線に「なんと一瞬だけ!」、スイッチを入れた瞬間と切るときだけ、電気が流れました。つまり電気を流した電線は電磁石となり、鉄心内に磁気が発生し、その磁気の変化がもうひとつの電線に電気を生じさせたのです。しかし、電気が一定で流れ続けている間、つまり一定の磁気が発生している間は、も

うひとつの電線には電気は生じず、スイッチを入れた瞬間と切れた瞬間、つまり鉄心内の磁気に変化した時（発生したときと消滅した時）だけ、電気が生じたのです。この発見された現象は、電磁誘導の法則と呼ばれます。

こうして、電気から磁気、磁気から電気を発生させることができるようになりました。

## **電気の発見から発明へ、そしてイノベーションへ**

前節で説明したような多くの科学者の努力の結果、電気と磁気の性質がかなり正確にわかってきました。二つを合わせて、電磁気と呼びます。電磁気の性質が正確にわかれば、使いやすくなります。電磁気はさまざまな形で、私たちの生活を便利にするようになってゆきます。まず、信号を伝えるものとして、続いてエネルギー源として使われるようになったのです。

### **電信機の発明と電気が伝わる仕組みの理論化**

電信機を発明したのはサミエル・モールスで、1837年のことです。日本にその技術が入ってきて、東京と横浜の間で公衆電報が開始されたのが1869年（明治2年）です。電話機を発明したのはアレグザンダー・グラハム・ベルで、1876年のことです。東京と横浜の間で電話交換業務が開始されたのが1890年（明治23年）です。そして1895年には、マルコーニが無線機を発明しました。ここでは電信機の発明と、その技術を成り立たせている理論の解明について、見てゆきましょう。

アメリカ人の画家であったモールスは、イギリスへの美術留学の帰路、船上で行われた「電磁石」の簡単な実験を見て、電





図 13 サミエル・モールス

気を使った通信システムを思いつき、電信機を発明しました。モールスが発明した電信機で送信される信号は、「モールス符号」と呼ばれ、アルファベットや数字の一文字一文字に、短点（・）と長点（—）を組み合わせた符号をわりあてたものでした。例えば s は「・・・」  
o は「——」です。「・」を

トン、「—」をツーと呼ぶことにすれば、「助けてください」を意味する SOS は「トントントン、ツーツーツー、トントントン」です。

何キロメートルも離れた A 街と B 街の間に電柱を立てて 2 本の電線を張り、電気信号の往路と復路にします。A 街でスイッチを押すと B 街の電磁石が作動して、紙テープに短点と長点が記録されます。アルファベット(A~Z)と数字(0~9)の 36 文字に対応させたモールス符号を使って、手紙文を送信しました。ひとびとは、これは便利だと利用し、瞬く間に街から街へと広がってゆきました。

ついには 1853 年から 1866 年にかけて、大西洋に電信ケーブルを敷設することに挑戦し、ヨーロッパと北米の間で、一瞬にして手紙を送信できる社会をつくりました。発明者のモールスは、手紙を瞬間に遠方に届けられることを「なぜだろう」と考えることなく、電信線を敷設して電気通信事業を進めていく

ことに熱心でした。

一方、英国のグラスゴー大学教授のウィリアム・トムソンは「いったい何が 2本の電線を伝搬しているか」の疑問を持ち、解析しようしました。しかし、トムソンもまた 1853 年からの 13 年間は、大西洋横断電信ケーブル敷設船に乗り、その敷設事業に参画し、また他の数々の研究課

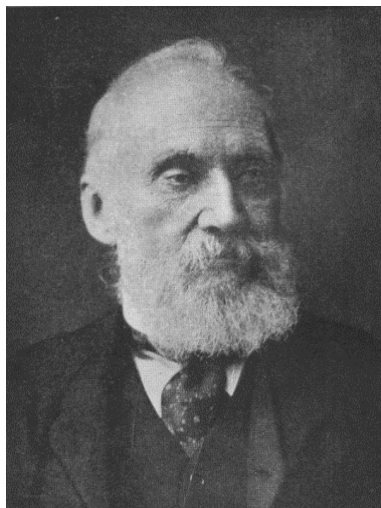


図 14 ウィリアム・トムソン

題にも取り組んでいたため<sup>8</sup>、その疑問の解明を、ケンブリッジ大学を卒業したばかりの若き英才ジェームズ・マクスウェルに託しました。

マクスウェルは 10 年もの歳月を費やし、2本の電線の間に見える電気の間(電界)と電線に流れる電流の磁気の間(磁界)が電磁界を作り、その伝搬スピードは当時既に知られていた光の速度になることを、数式的に導きました(1863 年)。さらに、弟子のジョン・ポインティングはその電磁界は電気のエネルギーを運ぶことも数式的に導きました(1884 年)。

---

<sup>8</sup> トムソンは 1854 年に、「運動の伝播」「熱の伝導」「光の伝播」の対比に関する論文を講演しています。ちなみに、後日トムソンはその業績を評価されて、「卿」の称号を得て、ケルビン卿と呼ばれるようになります。ケルビン (K) は、絶対温度の単位として、現在使われています。

しかし、当時はこの理論はあまりにも飛躍した考えで、当時の科学者たちを簡単に納得させることはできませんでした。彼らの残したこの業績は、後の科学者や技術者が電気を使った電気機器や電子機器を実用化する過程で、多くの人に理解されるようになり、物理や電気の専門書に記述されるようになりました。

技術は大昔からありました。しかし近代に勃興し急速に進歩した科学が、技術の可能性を大きく広げ、私たちの生活を変えていったのです。今、それを通信の分野に見ました。次にエネルギーの分野で見てみましょう。

### 発電機・白熱電球の発明と電力事業化

先に、ファラデーのコイルを使った実験について述べました(P.18 参照)。磁気の変化はコイルに電気を生じさせるという実験でした。ぐるぐる巻かれた銅線(コイル)の間を通る磁気

が変化した時に、銅線に電気が流れるなら、図 15 のような構造にして、磁石を中心軸のまわりにぐるぐる回転させても、コイルに電気が流れることとなります。逆に、磁石を静止させて、コイルを回転させても、コイルに電気が流れます。これが発電機です。

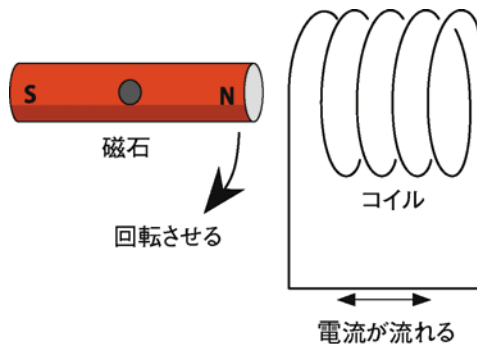


図 15 発電機の原理

この電気は、電池で発生させたものと違って、磁石の回転に伴って電線を行ったり来たりします。電池で発生させたものは一方方向に流れ、これを直流と呼びます。一方、図 15 のような電気を交流と呼びます。現代の水力、火力、原子力や風力発電所では、水や水蒸気や風の力によって発電機内の磁石を回していますが、発電機で電気が起きる原理は、まさにファラデーが発見した電磁誘導の法則そのものです。

実用的な発電機の開発には、多くの人が関わっています。1832 年には、フランスのピクシが永久磁石を回転させ、固定したコイルに電流を作る実用的な発電機を開発しました<sup>9</sup>。1860 年代後半以降、それまで産業革命を牽引していた蒸気機関に代わることができるほど大量の電力を供給できる、実用的な直流発電機(ダイナモと呼ばれます)の開発が、シーメンス、グラム、エジソンらにより行われました。

さて、電力供給と書きましたが、何のための電力供給なのでしょう。照明と、モーター(電動機)のためでした。電気エネルギーを熱として利用するのが、白熱電球などの照明です。電気エネルギーを回転する機械エネルギーに変換して利用するのが、モーターです。前者は夜を明るくし、後者は昼に仕事しました。双方のおかげで電気の利用はさかんとなり、どち

---

<sup>9</sup> この発電機で得られる電気は交流ですが、おもしろいことに、当時の主要な電源はボルタの電池で、得られる電気は直流で、それを利用した電気化学工業が進展しつつあったので、交流の電気を作っても、わざわざ整流子と呼ばれるものを入れて直流にして利用しようとしていたのです。

らも私たちの世の中を大きく変えました。白熱電球の発明と電力事業の発展に、それを見てみましょう。

白熱電球というとエジソンが有名ですが、彼より前にイギリスで1878年にスワンが、炭素フィラメント電球の製造に成功しました。しかし、この電球は長時間の使用に耐えませんでした。エジソンはスワンに少し遅れて、綿糸を素材にした炭素繊維をフィラメントにした白熱電球を作り、40時間の連続点灯に成功しました(図16)。1879年のことです。エジソンは実用的電球を製造するため、ガラスバルブの製造方法や口金とソケットなど、さまざまな技術開発をしますが、電球をさらに長寿命にするため、フィラメントの原材料の研究も継続しました。

そのときに採用されたのが、京都の石清水八幡宮の竹でした。

エジソンがすごいのは、もちろん長い時間使える白熱電球を発明したこともありますが、そのときにフィラメント抵抗をあ

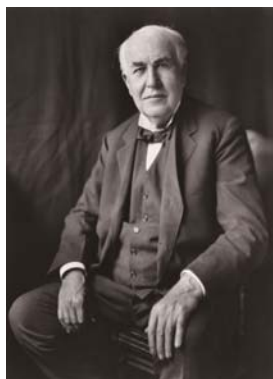


図16 トーマス・エジソン(左) エジソン型電球(右)

(電球写真提供: 国立科学博物館)

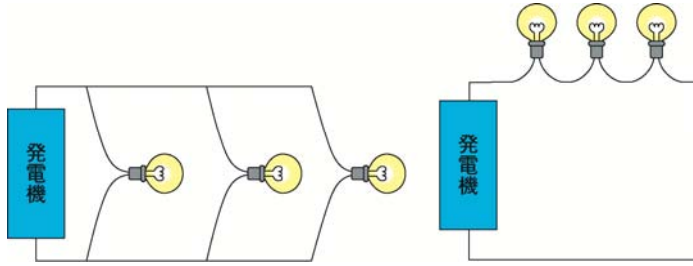


図 17 並列接続 (左) と直列接続 (右)

げて並列に電球を接続できるようにして電気を配り、照明を事業化して成功したことです。ここで強調したいのは並列に電球を接続することの重要性です。直列では一つの電球が切れたら電流は止まってしまう全部の電球が消えてしまいます。その上、直列では一つ一つの電球をスイッチでもって独立に切ったり入れたりすることは困難です(図 17)。エジソンは発電所を作って、発電機で電気を起こし、電線で各々の建物に電圧一定の電気を配って、並列に接続した多数の電球を灯し、暗い夜を明るく変え、世の中にイノベーションを起こしたのです。事業にするためには電気料金を徴収しなくてはなりませんから、使った電気の量(電力量)を計測するため、電気メッキを利用した電力量計も開発しました。

### 交流と直流のどちらが優れているのか

ここには、まだまだおもしろい話がいっぱいあります。エジソンが使った発電機は、直流発電機です。直流の電気を利用者に配りました。現在、皆さんの家庭に来ている電気は交流です。発電機もほとんどすべてが交流です。エジソンが電力事業を立ち上げて間もなく、直流がよいのか交流がよいのかの大論争が

起きます。そして交流派が大勝利を取めます。エジソンは敗退します。そもそも回転する発電機でできる電気は交流ですし、何よりも交流は変圧器を使って電圧を上げることが容易のできるので、ロスを減らして長距離を伝送することができます<sup>10</sup>。1896年には、交流発電機を採用したナイアガラ発電所から、40km はなれたバッファロー市への送電が成功しました。交流の優位が実証され、交直論争に決着がつけられました。

しかし、いつでもどこでも交流が直流より優位なのでしょう。そうでもないのです。実は送電する距離が長くなればなるほど、交流には電気を送りにくくなる現象があります。その場合には直流送電が有利になります。カナダのように国土が広くて人口が少ない国では、直流送電も多く使われています。

また、電気を使う場面を見てみましょう。パソコンやテレビの中の電子回路は直流で動いています。エアコンではパワーエレクトロニクス技術によって、コンセントからの交流をいったん直流に変換して、それを周波数が高い交流に再変換し、その変換過程を制御することで、高性能と省エネの両方を実現しています。初めから直流を使えば、もっと省エネになります。19世紀に一度は結論が出た交直論争ですが、もう一度考え直し、新しい技術を創り出す時期に来ていると言ってもよいのです。

---

<sup>10</sup> 電力輸送と損失の関係はここでは述べません。この小冊子シリーズの「電気とは何だろう」や「電気を送る・配る」(続刊)を見てください。

## 志田林三郎と藤岡市助

ここまで電気の発見から発明、そしてイノベーションに関わるお話をしてきましたが、出てくる人は外国の人ばかりでした。日本は欧米に比べて遅れて近代化しましたので、外国人に教わることがたくさんあったのは間違いありません。でも、日本中で電気を自由に、しかも安定して使えるようにするために活躍した、電気工学の偉人と呼ばれる日本人も、もちろん何人もいます。

ここでは、日本の電気工学の草創期である明治の時代に活躍した二人の偉人、志田林三郎と藤岡市助を紹介しましょう。1856（安政3）年に現在の佐賀県多久市に生まれ、小さい頃から神童と呼ばれていた志田林三郎は、1872（明治5）年、現在の東京大学工学部電気系学科の前身である工部省工学寮電信科に第1期生として入学し、非常に優秀な成績を修めました。工学寮を首席で卒業した後、スコットランドの大学に留学して物理学や数学を学び、最優秀者に与えられる賞をいくつも受賞して帰国した志田は、日本の電気工学や通信技術の発展のために工部省で働きつつ、電気、通信、磁気などに関するさまざまな研究を行いました。当時、電気を利用する技術



図 18 志田林三郎  
(多久市郷土資料館蔵)



は、物理学や土木工学といった別の分野の一部だとする考え方が一般的でしたが、志田はその将来性にいち早く注目していました。

そして、1888（明治 21）年、電気工学の調査・研究と、その普及と発展のために、電気学会の設立を宣言し、当時、逓信省（郵便や通信を管轄する官庁）の大臣であった榎本武揚を電気学会の初代会長に据えました。

電気学会の第一回総会で志田は、「将来可能となるであろう十余のエレクトロニクス技術の予測」として、無線通信、長距離電送、テレビ、映像音声記録など、電気工学の未来技術について演説し、その後、それらの技術が次々と実現したことから、今でもその先見性が高く評価され「先見の人」と呼ばれています。

日本で初めての工学博士であり、現在まで語り継がれる大演説など、さまざまな功績を残した志田ですが、演説から 4 年後の 1892（明治 25）年、36 歳の若さで病に倒れてこの世を去り、自らが予言した未来技術を実際に見ることはできませんでした。

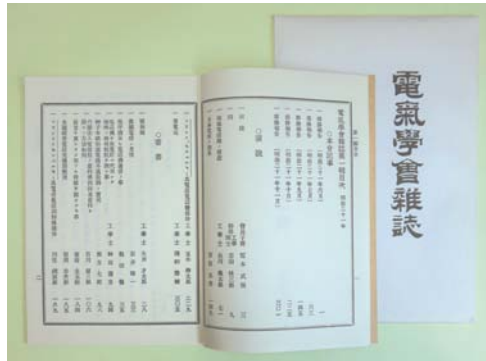


図 19 志田の演説が掲載された電気学会雑誌 第一輯

もう一人、紹介したい偉人がいます。「電気界の父」とも、「日本のエジソン」とも呼ばれる藤岡市助です。

藤岡は、1857（安政 4）年に現在の山口県岩国市に生まれ、志田林三郎も卒業した、工部省工学寮電信科に第 3 期生として入学し、電気学や数学を学びました。藤岡は在学



図 20 藤岡市助

（写真提供：東芝未来科学館）

中、電気灯「アーク灯」の点灯実験に参加し、1878（明治 11）年 3 月 25 日に行われた電信中央局の開局祝賀会の会場でアーク灯の点灯に日本で初めて成功しています（現在、3 月 25 日は「電気記念日」となっています）。1881（明治 14）年に、志田と同じく首席で卒業した藤岡は、母校の教員として電気の後輩達に教えるかたわら、日本の夜を電気の明かりで照らすことを夢見て研究を続けます。

前節で紹介したように、この頃エジソンは照明、電気の事業化に成功していました。1884（明治 17）年、藤岡は国の使節としてアメリカに渡り、フィラデルフィアで行われた万国電気博覧会や電気産業を視察するとともに、ニューヨークのエジソンの研究室を訪れました。藤岡はエジソンに、「日本に帰ったら電気事業の創設に我が身を捧げます」と宣言し、電気の事業化について、エジソンから直々に教えを受けます。この時エジソンは、「どんなに電力が豊富でも、電気器具を輸入するよう



図 21 藤岡市助が開発した白熱電球の特許証

では国は滅びる。まずは電気器具の製造から手がけ、日本を自給自足の国にしなければ」と藤岡に告げました。

エジソンの言葉を胸に、1886（明治 19）年、

藤岡は教員を辞め、「東京電燈」（現在の東京電力株式会社のルーツ）の設立を提言し、自ら東京電燈の技師長となって白熱電灯の試作を開始しました。その後も、電灯メーカー「白熱舎」（現在の株式会社東芝のルーツの一つ）を設立したり、日本初の路面電車を走らせたり、当時浅草に建てられた日本初の超高層ビル「凌雲閣」に、日本初の電動式エレベーターを設計、設置したり、電気事業に関わる「日本初」には、必ず藤岡が関わっているとんでもない過言ではありません。藤岡の活躍がなければ、現在私たちの暮らしを明るく照らし、便利に利用できる電気の世界は、まったく違うものになっていたに違いありません。

### 3 電気を正しく書き表す

自然科学と技術が相まって、私たちの暮らす社会、私たちの日々の生活を便利にしてきた歴史の一端を、第 2 章（特に「電気発見の物語」P.11～）で振り返りました。その中で、電磁気

にかかわるいろいろな「モノ」の関係を式で表すことにより、現象を正確に表現できることを見てきました。

式で表すときには、モノがどのような性質を持っているのかをはっきりさせ、そのモノが量れる場合には、量をどのように表すかをはっきりさせておかないと、話が始まりません。この章では、電気の基本となる性質とその特徴を表す量について、考えてみましょう。

## 電圧と電流

電池と豆電球を電線でつなぐと、豆電球が光ります。電池両端には電圧（直流電圧）が発生していて、電線には電流（直流電流）が流れます。電圧の高さを示す単位はボルト [V] で、アルカリ乾電池の端子電圧は 1.5 V です。電流の大きさを表す単位はアンペア [A] です。

発電所では発電機が回って、そこで起きた電気が家庭にまで届けられて、壁のコンセントまで来ています。そこにテレビのコードをつなげば、テレビ放送が視られます。コンセントの電圧（交流電圧）が 100 V であることは、よくご存じでしょう。

コンセントの電圧は国によって違います。コンセントの形もさまざまです。このため日本の家庭電気製品を、そのまま外国で使えません。電圧が 100 V よ

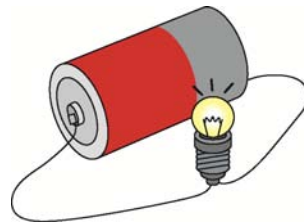


図 22 乾電池で豆電球に点灯

りも高い国に行って、日本の電気製品をコンセントに接続すると故障してしまいます(そのようなことが起こらないようにコンセントの形は電圧によって変えてあります)。なお、電気シェーバーなど電源アダプターを使う電気製品では、外国の電圧にも対応できるものもあります。一般に、電気で動く機器や装置には、そのための電源電圧の高さが指定されています。

電圧の他に電気の性質を特徴づけるもう一つの重要な量があります、電流です。上で述べたように、電流の大きさを表す単位はアンペア [A] です。テレビ、パソコン、炊飯器などを、電源に接続しスイッチを入れると動作を始めます。このとき電気の流れである電流が流れます。電源である乾電池の端子やコンセントの両端に電圧は常に現れていますが、何もつながなかったり、スイッチを入れたりしなければ電流は流れません。電気を何に使うかによって、電流の大きさは違います。通常は電源(電池とかコンセント)の電圧は一定な値に決められていますので、電圧よりも電流に注目する必要があります。

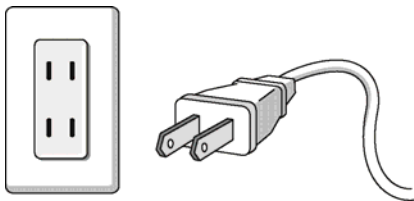


図 23 壁のコンセントとプラグ

電流の大きさは何で決まるのでしょうか。電気を発光、熱、動力に変換する仕組みにより、必要な電流の大きさが決まります。テレビは1~2 A、電気ストーブでは4~8 A程度の電流が流れます。比較的大きな電流が流れる電

気製品の例として、エアコン、電子レンジ・オーブン、炊飯器などがあります。電気を動力として使う場合に、大きな電流が流れることが多くなります。たとえば電車が動き出し加速しているときには、数 100～1,000 アンペア [A] もの大きな電流が流れます。

家庭やオフィスにある電気製品では、コンセントから流れている電流の大きさはさまざまです。コンセントや電源コードには、流すことができる電流が指定されています。使っている電源コードが熱くなった経験のある人もいるでしょう。電線のように電気を流すものを導体と呼びます。電気が流れると、導体の温度は程度の差はありますが上昇します。これは導体に電気抵抗があるためです<sup>11</sup>。抵抗の大きいニクロム線を使って、積極的に熱を発生させて利用するのが電気ストーブです。

電源の種類により電圧は所定の値が決められており、アルカリ乾電池の電圧は 1.5 ボルト [V] です。しかし、ランプや電子機器をつなぐと、この電圧は低下します。電源としての電圧である 1.5 ボルト [V] が、なぜ保たれなくなるのでしょうか。乾電池には、それ自身の内部に電気抵抗をもっています。このため、電流が流れると電気抵抗の両端に生じる電圧分だけ、乾

---

<sup>11</sup> 導体の温度をどんどん下げてゆくと、ある温度を境にして電気抵抗が急に零になる現象が現れます。超電導現象です。抵抗がゼロですから、いくら電流が流れても発熱は生じません。ただし、電流が交流の場合や機械的振動に曝されると微小ながら超電導線に熱が発生するのでそれを除熱する冷凍機が必要です。リニア新幹線で使われる磁気浮上コイルには超電導の電線が採用されています。なお、電気屋さんには超電導という漢字を使いますが、物理さんは超伝導と書きます。おもしろいですね。

電池の端子に現れる電圧が低下してしまうからなのです。乾電池内部の電気抵抗が零であれば、ランプや電子機器のスイッチが入っても、常に 1.5 ボルト [V] の電圧が維持されますが、残念ながら、このような理想的な乾電池は現実にはありません。大きな電流が流れる電気製品のスイッチを入れると、コンセントの電圧もわずかですが低下します。

## 直流と交流

先に、一定の方向に電流を流し続けることができる電池の発明が、科学の発展に大きな役割を果たしたことを見てきました (P.15～)。このような電気を、直流と呼びます。各種の電池に、+と-の極性が表示されているように、電気にはプラスとマイナスの極性があります。電池の極性は電池の構造から定まり、電池の端子の電圧と、その極性も時間的に変化しません。このような性質をもつ電池の電気が、直流であることを知らない人はいないでしょう。

電気がかかわる機器や現象を扱うとき、マイナスとプラスの極性は重要です。スマホ、パソコンなどの電子機器は、その中の電子回路を構成する部品は極性が決まっているので、直流の電気で動きます。物質の中には電子とイオンが含まれています<sup>12</sup>。電氣的にみると、電子はマイナスの極性を持ち、イオンはマイナスあるいはプラスのどちらかの極性をもっています。

---

<sup>12</sup> 原子は、陽子と中性子からなる原子核と、その周囲の軌道にある電子とからなっています。軌道にある電子を放出したり、逆に電子を受け入れたりすることで、プラスやマイナスに帯電します (イオン化します)。

電子、イオンの数により電氣的な極性が決まります。

電氣の極性がプラスかマイナスかを定める場合、電圧を零とする基準点を作らなければなりません。これが「接地」あるいは「アース」と呼ばれるものです。－電極を接地すると、反対側の電極はプラスの電圧に、＋電極を接地すると、反対側の電極はマイナスの電圧に、それぞれなります。このため電池は、プラスとマイナスどちらかの極性の電氣として使えるのです。

先に、エジソンが白熱電球と電力事業に果たした貢献の大きさを見てきました (P.22～)。電氣を一定電圧で供給して並列に電氣装置を接続する、皆さんの家庭でもそうになっていますね。この基本的構造を使って、電力を商品として売ること、事業に成功しました。ここでもし、電圧一定ではなくて電流一定で電氣を売ったら、事業は成功したでしょうか。ちょっと考えてみてください<sup>13</sup>。

しかしエジソンが使ったのは直流で、交流派との戦いに、結局は敗北してしまったことも見てきました。

電力会社から家庭や学校・オフィスに供給される電氣は交流です。コンセントの端子に現れる交流電圧では、プラスとマイナスの極性が交互に繰り返すように、時間的な変化をしています。このため、交流の電氣では電池のように定まった極性、という概念が成り立ちません。この繰り返しの回数は日本の場合、1秒間に 50 あるいは 60 回です。周波数の単位 ヘルツ [Hz] を

---

<sup>13</sup> 図 17 (p. 25) の並列接続と直列接続の図を思い出しましょう。並列接続の方が、個々の電球にスイッチを容易に入れることができます。すなわち、接続を要する電球の数が変わっても、容易に対応できます。



使って表すと、50 Hz あるいは 60 Hz となります。この周波数を商用周波数と呼びます。交流電圧の大きさは時間の進行に伴い、正弦波的に<sup>14</sup>変化しています。それを図示すると、図 24 のようになります。

交流の電気が来ているコンセントに接続されているパソコン、テレビなどの家庭電気製品は、実際の動作には直流電気が使われています。エアコンなどでは交流からいったん直流に変換し、さらに商用周波数より高い周波数の交流に再変換して、高性能・高効率を実現するものが主流になっています。そのために、交流から直流に変える回路で、交流電気が直流電気に変換されています。直流と交流との双方への電氣的な変換は、パワーエレクトロニクスと呼ばれる技術の進歩のおかげで比較的容易にできるようになりました。

直流電気を発生させる太陽光発電や、風の強さによって周波数が変わる電気が起きる風力発電のような再生可能エネルギーは、商用周波の電線に直接接続することはできません。利用にあた

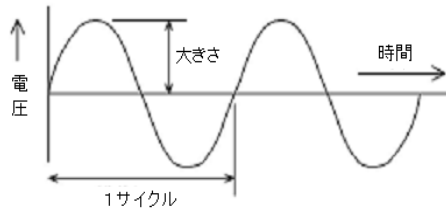


図 24 正弦波になる交流電圧波形

<sup>14</sup> ここで出てきた正弦波とは、時間の経過とともにゼロを中心にプラスになったりマイナスになったりする波です。電気の交流もゼロを中心にプラスになったりマイナスになったりする正弦波なのです。

っては、交流・直流電気それぞれの違いを理解して、両者を自由に使いこなす技術が求められています。

ところで、日本ではなぜ 50 Hz と 60 Hz の二種類の交流周波数の電気が使われるようになったのでしょうか。周波数の地域による違いは、大まかに言うと静岡県東部を流れる富士川を境にして、東側の関東・東北・北海道では 50 Hz、西側の地域では 60 Hz になっています<sup>15</sup>。この周波数の違いは、19 世紀後半、日本で電力事業が始められたときに、関東地域では周波数が 50 Hz であるドイツの発電機を、また、関西地域では周波数が 60 Hz である

米国の発電機を導入したことに起因しています。周波数が異なる電気のシステムを直接接続することはできませんので、東地域と西地域の間には周波数変換所が置かれています。そこでは一方の周波数の電気をいったん直流に直して、さらに



図 25 富士川を境に周波数が変わる

---

<sup>15</sup> 私たちが町で使う電気の周波数は、富士川を境にして変わっています。では東海道新幹線はどうでしょう。実は東京駅までの全線が、60Hz になっています。では上越新幹線はどうなっているでしょう。長野新幹線と北陸新幹線は？ 調べてみましょう。

それを他方の周波数に変換して接続します。ここでもパワーエレクトロニクスが大活躍しています。

## 電力と電力量

電圧と電流が、電気の性質を表す大事な量であることを示しました。もう一つの量として電力があります。実生活において、電気にかかわる一番重要な量が、電力かもしれません。

皆さんの家庭では、毎月電気料金を電力会社に払っていますね。電力会社からはそのための請求書（使用した電力の量および料金の通知）と領収書が送られてきます。電気を使ってテレビを見たり、冷蔵庫を冷やしたり、洗濯機を回したりします。電気は仕事をしたわけで、その仕事に見合う電力料金を支払ってくださいというわけです。

図 26 の電力会社からの通知を見てみましょう。「あなたの家では 189 kWh の電気を使いました。だから 6,145 円を請求する予定です。」といった感じになっていますね。この kWh が電力量の単位で、キロ・ワット・アワーと読みます。そして、ワット[W]が電力の単位です。

電力の物理的な意味は、1 秒間あたりに使われる電気エネルギーの大きさです。エネルギーについては、皆さんは中学で電気のエネルギー、光や音のエネルギー、熱エネルギー、力のエネルギー、化学エネルギーなどを学習しました。これらのエネルギーの単位は、ジュール [J] ですから、電力の単位は、ジュール/秒すなわち [J/s] で表されます。

ワット [W] は1秒当たりの電気エネルギーを表す単位なのです。両者の関係は次の通りです。

$$1 [J/s] = 1 [W]、1 [J] = 1 [W \times s]$$

先ほどの電力料金の通知は、物理的には、

$$189 \times 1,000 \times 60 \times 60 = 680,400,000 [J]$$

のエネルギーを使って仕事をしましたから、その対価として6,145円をいただきますという意味になりますが、kWh（キロ・ワット・アワー）の方がずっとなじみがありますね。電気は物理より親しみやすいと思いませんか。

毎度ご利用いただきありがとうございます

電気ご使用量のお知らせ

ご使用場所

27年3月分 ご使用期間 2月16日～3月15日  
検針月日 3月16日 (28日間)

ご契約種別 従量電灯B

ご使用量 189kWh

ご契約 50A

請求予定金額 6,145円  
(うち消費税等相当額) 455円

基本料金 1,404円00銭

電力量料金  
・1段料金 2,331円60銭  
・2段料金 1,787円79銭

燃料費調整額 534円87銭

再エネ発電賦課金 141円

口座振替割引 -54円00銭

当月指示数 93632  
前月指示数 93443  
差引 189

計器乗率(倍) 189  
取替前計量値 928  
計器番号(下3桁)

昨年3月分は28日間で 214kWhです。  
今月分は1日あたり 11%減少しています。

燃料費調整のお知らせ (1kWhあたり)

3月(当月)分 +2円83銭  
4月(翌月)分 +2円62銭  
翌月分は当月分に比べ -0円21銭

今月分 振替予定日 3月26日  
次回検針予定日 4月16日

地区番号 A1 お客さま番号 123-456-789

検針員

お問い合わせは、下記の電話番号まで  
～おかけ間違いをお気をつけください。～

お問い合わせ先/カスタマーセンター  
お引越/契約の変更 0120-xxxx-xxxx  
その他の電気に関するご質問 012x-000-000

東西電力株式会社  
東京支社

図 26 電力会社からの通知

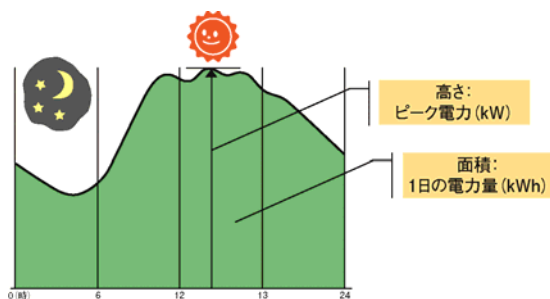


図 27 電力と電力量

ワット[W]の具体例として、ハイブリッド自動車では電気的な出力が **50 kW** である、などの説明を見たことがあるでしょう。ワット[W]はどれだけ力を出せるかの単位の量です。家庭電気製品のラベルやカタログに記載されている消費電力の例を見てみましょう。これは、この製品を使うと、どれだけの電力が消費されるかを表しています。テレビは **50~600 W** 程度です。**LED** ランプには **13 W** で白熱電球 **100 W** 相当などと書いてあります。白熱電球の **8 分の 1 弱** の消費電力で同じ明るさを出せますという意味です。

1 日の 24 時間の使用電力が、図 27 のように変化したとしましょう。その瞬時、瞬時の高さが電力、曲線の下面積が電力量です。発電所は電力のピークに合わせて作って運転できるようにしないと、電気が足りなくなって停電します<sup>16</sup>。電力料金

<sup>16</sup> 発電所は長期的な需要予測のピークに合わせて、予想外の事態に備える予備力を含めて建設し、しかも時々々のピーク需要を含む時々刻々と変化する需要に合わせて発電機を運転できるようにしないと、電気の過不足が生じて停電等の不都合が生じます。

は図の面積に応じて、すなわち使った電力量に応じて、支払うこととなります。

## 4 電気を正しく使う

雷は電気、雷に打たれたら命の危険がある、これは誰でも知っていますね。では、電気は雷だけかと思ったら、そうではありません。これまでも見てきたように、雷以外にも電気はいたるところにあります。それらは安全なのでしょうか。それらを使うときに、どのような注意を払ったらよいのでしょうか。

### 家庭への電気の入口は分電盤

どの家庭でも、図 28 のような箱が廊下などの上の方についているはずです。これを分電盤といい、電気メーター<sup>17</sup>からきた電気はまずここにつながります。

ここでは、赤、白、黒の 3 本が見えますが、白い線が接地された線で、赤と白の線で 100 ボルト [V]、黒と白の線で 100 ボルト [V]、赤と黒の線では 200 ボルト [V] の電圧が出せるようになっています。このような配電方式を、単相 3 線式と呼びます。分電盤にあるものは、どれも家庭内での事故を防ぐものです。まず図 28 の右の写真で、一番左にあるものが、アンペアブレーカーと呼ばれるものです(ブレーカーというのは、回路を切るスイッチと考えて下さい)。ここを流れる電流の合計が、契約電流以上の大きな電流になった時(電気ストーブと電子レンジとエアコンを同時に使った場合などが考えられますが)、電気を切る役目を持っています。この写真の例で

---

<sup>17</sup> 電気メーター(正式には電力量計といいます)がどこにあるのか、気になりますね。自分の家の周りを見てください。

は、30 アンペア [A] 以上の電流が流れると電気が切れます。

皆さんの家庭で電気を使い過ぎたときに、例えば夜テレビを観ながら、エアコンと冷蔵庫と洗濯機と布団乾燥機を使っているときに、電子レンジで「チン」しようとしたら、「バン！」と音がして部屋の中が真っ暗になったことはありませんか。電気の使い過ぎですから、このアンペアブレーカーが飛んだのです。使う電気を減らして、例えば布団乾燥機を止めて、このブレーカーのスイッチを元に戻せば、「チン」しても大丈夫になります。

実は、このアンペアブレーカーのアンペアで、各家庭は電力会社と電力料金の契約をします。誰のものかといえば、皆さんの家庭のものではなくて、電力会社の所有物です。電力会社はこれも無料で利用者宅に取り付けますが、その際に取り付け場所を利用者から提供してもらうのです。皆さんの家庭に送られてくる「電気使用量のお知らせ」を見てみましょう。契約アンペアが何アンペアかは必ず書いてあります。前に出た図 26 の

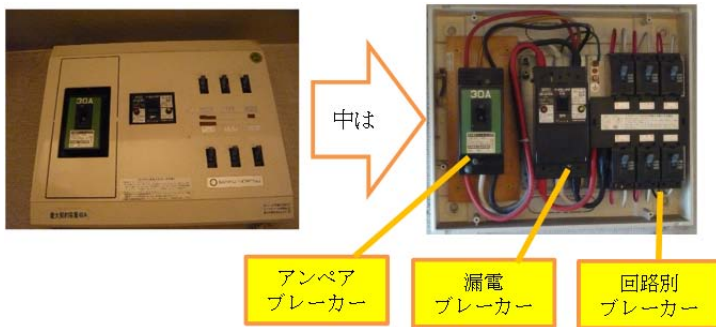


図 28 家庭内の分電盤



例では、「ご契約 50A」と書いてあるので、契約アンペアは 50 アンペアということです。電気料金はこの契約アンペアで基本料金が決まり、月々の使用電力量に応じた料金をそれに加算して決まります。最近、国として再生可能エネルギーによる発電を促進するため、「再エネ発電賦課金」も加算されるようになっていきます。

図 28 の左から 2 番目のものが、漏電ブレーカーというものです。電気が家庭内の配線や家電機器の外へ流れてしまうとすれば、それは異常です。いわゆる漏電が起こったので、そのときに電気を切るものです。漏電は、大きな電流ではなくても配線のコードに傷がついたとか、家電機器に故障が起こったなどの原因で起きます。それを発見し、自動的に電気を切るのが漏電ブレーカーです。漏電に気がつかないと、器具に触った時にビリッと感電することもあり、流れる電流が多い時には人の命に関わります。

万一、漏電が起こったときにも、電気を安全に大地に逃がすのが接地（アース）です。洗濯機、食器洗い機のように水気や湿気が多い場所で使う機器はアースを付けるようになっているはずですので、忘れずに付けるようにしましょう。

その右に同じようなスイッチがいくつもありますが、これらは個別の回路毎に、大きな電流が流れた時に電気を切れるようにしてある、回路別ブレーカーです。

回路別ブレーカーからは、回路ごとに、例えば部屋ごとに、電線（宅内配線）が張られています。電線にはビニールの被覆があって、感電しないようになっていますが、この配線工事は

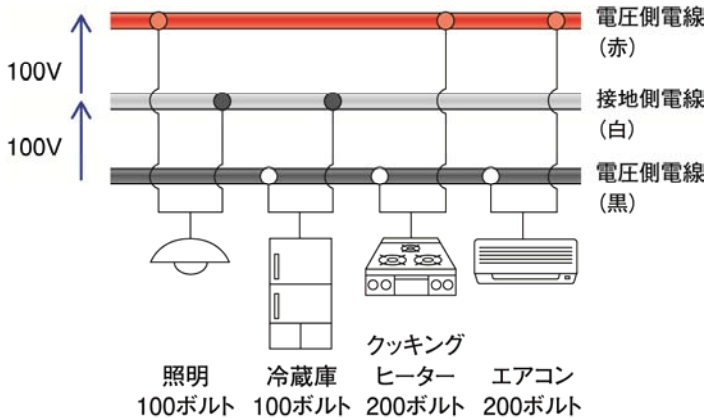


図 29 家庭内で電気を使うための配線

安全を確保するため、国の資格を持った人だけしかできません。

いま、簡単に考えるため宅内の回路が一つしかないとして、照明、冷蔵庫、クッキングヒーター、エアコンを接続するとします。接続の仕方は、図 29 のようになります。実際の接続はコンセントを介して行いますが、コンセントの図示は省略してあります。

## 電気を安全に使うために気をつけること

前節でみたように、家庭では 2 重、3 重に電気の安全対策が取られています。またプラグやコードも電気を通さないビニールなどで包まれていますので、触っても感電することはありません。しかし、コードに傷がついていると、中の線に手が触れて感電する可能性があります。このため、プラグが曲がっていたり、欠けていたりしているものを使わないのはもちろん、プ

プラグをコンセントから引き抜く時に、ついコードを持って引っ張りたくなりますが、そうするとコードやプラグ部分を痛めるので、必ずプラグを持って抜くようにしましょう。

実は電線の被覆材としてビニールが使われるようになる前から、電線は使われていました。その時代、家庭内で使用される電線のコードは、どのようにして絶縁されていたのでしょうか。代表的なものはゴムの被覆とか糸巻きによる絶縁です。これらは経年劣化や傷つきやすさなどの問題を抱えていました。ビニールはじめ各種の人工プラスチックの開発によって、現在のような安全で信頼性の高い絶縁電線が普及して、それが電気の利用を促進したのです。

ここで、クイズを一つ。図 30 はプラグのイラストですが、プラグの先には穴があいています。この穴は何のためのものなのでしょうか？

この穴は単なる飾りではなく、ちゃんと意味があります。実は、この穴はプラグをコンセントに差し込んだ時、コンセントの中にある突起部に組み合わせさせて、プラグを抜けにくくする役目があります。これは規格で決まっているので、プラグには必ず穴があいています。もう一つ、クイズです。壁のコンセント

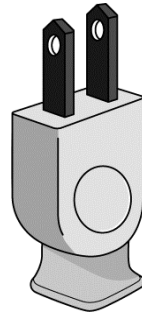


図 30 プラグの先の穴は何のため？

をよく見てみましょう。図 31 を良く見て下さい。

差込口の大きさが左右で違います。左側が 9 mm で、右側が 7mm となっているのですが、左側の長い方は接地されている線です。ブレーカーや家庭内の配線図で見た白い線がこの線になります。ですから、左側の線に触っても感電しないはずです。(ただし、正しく配線されていないと感電するので、試すのは止めましょう)

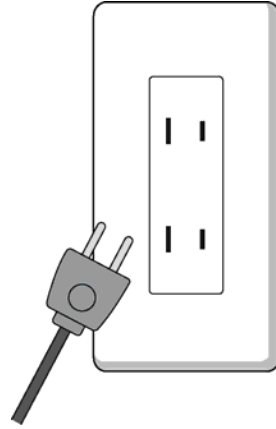


図 31 コンセントの穴の大きさは左右同じ？

普通の家電機器は、プラグの向きを逆にして差し込んでも問題なく動きますので、通常はどちらが接地側かを気にする必要はありません。

なお、上のプラグとコンセントは 100 ボルト [V] の電気機器用です。プラグやコンセントの形状や性能を製造者が勝手に決めると、電気機器に互換性が無くなって、使用者が迷惑することなどを考えて、これらは標準化されています<sup>18</sup>。100 ボルト [V] の電気機器用、200 ボルト [V] の電気機器用では、それぞれ 125 ボルト [V]、250 ボルト [V] で使えるプラグやコンセントを用います。プラグの刃とコンセントの刃受（差込口）の代表的な形状を、図 32 に示します。

<sup>18</sup> 日本工業規格 (JIS) C8303:2007 「配線用差込接続器」

コンセントからの電気を使いすぎると、コードが加熱し、場合によっては火事になる場合もあります。特に、壁のコンセントからテーブルタップで差し込み口を増やし、多くの器具を接続して使







刃受	刃	定格
		15A125V
		15A125V (接地極付)
		15A250V (接地極付)

図 32 プラグとコンセントの形状

う、いわゆる「たこ足配線」は大変危険ですので、止めましょう。また、ヘアードライヤー、トースター、電気ポットなど、熱を出すものは、器具そのものは小さくても、使用する電気は意外に多いので、コンセントの許容最大値を超えないように気をつけましょう。

次に注意する必要があるのは、ほこりです。ほこりは電気機器にとって大敵で、前節で述べた漏電の原因になることがしばしばあります。ほこりはその成分にもよりますが、ふつうはある程度電気を通します。ですから大量のほこりがあると、大きな漏電電流が流れ、コードや電気機器が発熱し、火事になることもあります。古いテレビや扇風機などが、火事の原因になったとのニュースが流れることもあります。こまめに掃除をして、ほこりがたまらないようにしましょう。

また、万が一、コードが燃え出したら、あわてて水をかけて

はいけません。水は電気を良く通すので、感電する恐れがあるからです。そのような時には、まずやけどをしないように気を付けてプラグをコンセントから引き抜くか、ブレーカーで電気を切ってから、水をかけるようにしましょう。

## 家の外も見てみよう

家の外に出て、電柱を見てみましょう。図 33 のようにたくさんの線がかけられています。電話の線やケーブルテレビの線等です。ここではこれらの線の内、配電線と呼ばれる電力線の話をしていきます。

図 34 を見てください。電柱からの電線（引込線）は、電力量計を経由して家の中に入っています。電力量計はここにあったのです。電力会社の検針員は、毎月このメータの指示をチェックして、それに応じて各家庭に電気料金の請求が来ているのです。このメータに不正があればたいへんですから、国の認可を受けた日本電気計器

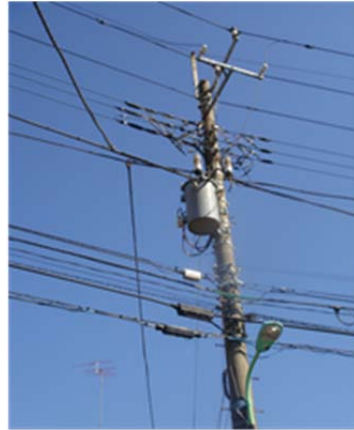


図 33 電信柱にかけられた線

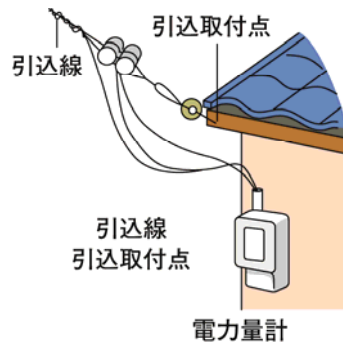


図 34 家庭に引き込まれている電線

検定所が、計量法という法律に基づいて一つひとつ検定しています。また、もしこのメータを勝手に操作すると、それは犯罪行為になります。

引込線の先を見てみましょう。電柱の電線から来ています。その配電線の電圧が、100 ボルト [V] と 200 ボルト [V] なのです。電柱の電線をもっとよく見てみましょう。引込線が引き込まれている電線の上部に、別の電線がありませんか。実はその配電線の電圧は 6,600 ボルト [V] の高圧なのです。高圧配電線の電圧を家庭などに配ることができる 100 ボルト [V] と 200 ボルト [V] に降圧するために、何本かに 1 本の電柱には、図 35 のように変圧器（電柱の上にあるので柱上変圧器と呼ばれています）が置かれています。

さて、この高圧配電線はどこから来ているのでしょうか。また、その先には何があるのでしょうか。ずっと先には発電所があります。そこで起こした電気が、家庭にまで送られてきています。

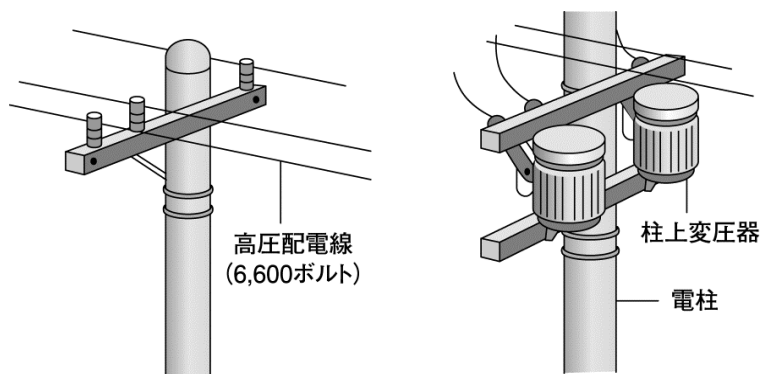


図 35 配電線と柱上変圧器

でも発電所と高圧配電線の間にはその他にもいろいろな設備が置かれ、それぞれが重要な役割を果たしています。それらについては、別の小冊子で説明することにします。でも、電気が伝わる仕組みについては、電気の基礎の重要部分ですので、次章で見ておきます。

送電線とか配電線では3相交流というものが使われていて、電線3本が一組となって電力をおくっています。このことはVol.5で述べます。

## 5 電気エネルギーが伝わるしくみ

血液が血管の中を、水道水が水道管の中を流れるように、電気エネルギーは電流と同じように電線の中を流れているのでしょうか。実はそうではないのです。皆さんは小学校のときから、電気の通り道や電気回路について学んできています。乾電池と豆電球を電線でつなげば、豆電球が光る実験<sup>19</sup>によって、電流が電線の中を通ることを学んでいます。豆電球のフィラメントが電流で熱せられて白熱して光になります。電気エネルギーが熱エネルギーに変わったのです。この電気エネルギーはどのようにして伝わるのか、それがこの章の中心テーマです。

この章は、皆さんの今までの学習経験からすると、違和感を持つところが出てきます。そこで「なぜだろう」「もっと知りたい」と思ってくれたら、皆さんの目の前には、電磁気学の最も魅力的な部分が垣間見えてきます。さあ、チャレンジしましょう。

---

<sup>19</sup> 「電圧と電流」(P. 31～) 参照



## クイズ

まずはクイズです。電線に鳥が止まっているところを見たことがありますか。多くの人が「見たことあるよ」と答えるでしょうね。鳥が感電して丸焼きになることはありませんね。鳥が一本の電線に止まっても鳥の体内に電流は流れないからです。

では次のクイズです。「鳥が止まらない電線はありますか。」もちろん地面の中の電線（地中ケーブルと呼びます）には鳥は止まれません。地上の電線（架空線と呼びます）も電圧がすごく高くなると、鳥は止まらなくなります。

では、次のクイズです。なぜ、電圧が高くなると、鳥は止まらなくなるのでしょうか。結論を言うと、電線の周囲には電界という電気の力を伝える「場」が発生しているからです。このことを詳しくのべてみます。



図 36 電線に止まる鳥（写真提供；近藤良太郎氏）

P.25 で、電気を供給するには直流がよいか交流がよいかとの大論争があり、直流を主張したエジソンが敗北した歴史を知りました。交流は電圧を上げたり下げたりすることが容易で、高電圧にすると電気エネルギーを送るうえでメリットがあるからです<sup>20</sup>。ですから送電電圧を上げる研究開発が続けられてきました。日本の最高電圧は 50 万ボルト [V] で、世界では 100 万ボルト [V] です。日本でも 100 万ボルト送電を実現するための技術は確立されていますが、電力需要が伸びなくなり、今のところ実用化する必要がない状態です<sup>21</sup>。

送電線の電圧についての基礎知識を得ましたから、電圧が高くなると送電線には鳥が止まらなくなる問題に戻りましょう。先に電信機発明の歴史を見ましたが (P.19～)、その当時トムソンが「いったい何が 2 本の電線を伝搬しているか」に疑問を持ち、その解決を若き天才だったマックスウェルに託したと話しました。マックスウェルと弟子のポインティングは、見事この問題を解決したと話しました。2 本の電線の間のできる電気場 (電界) と電線に流れる電流の磁気場 (磁界) が電磁界をつくり、その電界と磁界の組み合わせが電気エネルギーを

---

<sup>20</sup> 電線には抵抗があるので、流れる電流で発熱して、送ろうとした電気エネルギーの一部が熱エネルギーとして無駄に消費されてしまい、これが損失になります。また、交流で送電する場合、送電線には電流が流れるのをさまたげようとする性質があり、長距離送電が困難になります。この二つの問題は、送電電圧を上げて送電電流を小さくすれば緩和できます。

<sup>21</sup> ところで、この電圧は実用的な意味で何ボルトまで上げられるのでしょうか。これは大学レベルのクイズです。

光の速度<sup>22</sup>で運ぶのです。電界と磁界は電線の周辺にできます。電圧が上がるほど、また電流が流れるほど電磁界は強くなります。その影響は生き物にもあります<sup>23</sup>。鳥もそのため、電圧が高い送電線にはとまらなくなると考えられています。丸焼きになるのがこわいからではありません。

## 本格的に考えよう

### 準備運動—電圧の働き

本格的に考えるための、準備運動をします。エネルギーや電気エネルギーについての「電力と電力量」(P.38～)の説明を思い出してみましょう。その上で、水の流れと電気の流れを対比して考えます。水圧ポンプでもって、水車を回すとします。その時、エネルギーはどこを流れて行くのでしょうか。ここに水を循環させる閉じた輸送管があって、一端にはポンプが設置されていて、そこで水に圧力を加えて、他端に設置された水車を回す装置を考えてみましょう。ポンプで水に圧力を加えた後、ポンプの供給する力学的エネルギーを水車まで送るのに、二つの異なる方法が考えられます。

---

<sup>22</sup> 光の速度で電気エネルギーが伝わるのは、正確には真空中の現象です。空気中ではそれより少しだけ遅くなります。絶縁物のなかでは光の速度は真空中よりも遅くなります。

<sup>23</sup> 人間も生き物ですから、電磁界の影響(特に悪影響)を受けるのだろうかということが、関心事になります。送電線も電磁波を出しますし、携帯電話も出します。これらの生体影響を、国内外で科学者が研究をしていて、通常は安心してよいが、全く影響がないとは言えないと考えられています。この問題に関心がある人は、「新・でんきの暮らしと健康不安」(電気学会、2011年)が入門書として良いと思うので、お読みください。

(i)まず考えられる方法は、一端からポンプで水を押し、その水に加わる圧力を介して、他端で水車をまわす方法です（図 37）。

この場合、ポンプの出力エネルギーは水圧と水流の効果が組み合わさって管内を輸送され、水車まで送られます。

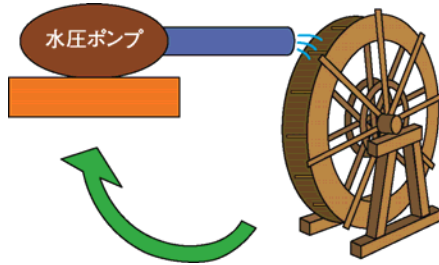


図 37 ポンプから水を出して、水車を回す

(ii)別の方法があります。まず、重力に逆らって水をポンプで高い場所に持ち上げます。次に、その水を落下させて水車を回します（図 38）。このときは重力の力で仕事が行われます。ポンプの力が直接伝わって他端で仕事をした訳ではありません。ポンプの駆動力は、水のもっている位置のエネルギーを増大させ、その位置のエネルギーが輸送されて、そのエネルギー

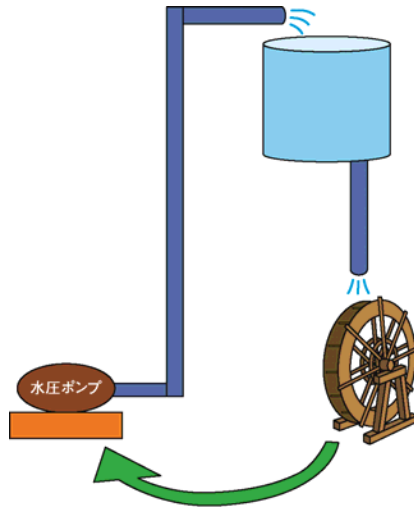


図 38 水が重力で落ちることで、水車を回す

が他端で仕事をさせたこととなります。この場合、水は水路の中を流れましたが、エネルギーは水路の中を流れたわけではなく、周囲の重力空間を流れたこととなります。

電気のエネルギーの輸送は (ii) の原理に基づいています。電源の起電力(ポンプ作用)で電圧が上昇し(電圧がかかって)、電源の電位<sup>24</sup>が上昇します。その電位が電線に沿って伝搬する電磁波によって運ばれて、他端での電位となり(通常ではこれも電圧とよばれています)、それが機器(モーターや電球など)の二つの端子間の電位差となり、その電位差が電流を流し、電流と電位差が相まって仕事をするわけです。

電池で豆電球をつける実験の場合、電池が電源です。電池の電圧(電位差)が通常銅の合金で出来ている2本の電線に沿って豆電球にまで運ばれ、その電圧が豆電球をつける(電気エネルギーを熱エネルギーに変える)という仕事をしているのです。ここで述べたように「電気エネルギーは電線内の電流によって運ばれているわけではない」ということを理解しないと、どうして電線を通して電気信号が光の速度で伝わるのかわからなくなってしまう。電線の中の電子は質量をもっていて重さがあるので、光の速度で信号を伝えるなどということは出来ないからです。

家庭の電球をつける場合、発電設備が電源です。電池は直流で、発電設備は原子力・火力・水力・風力・地熱の場合は交流、太陽光の場合は直流ですが、いずれにせよ上の電気エネルギー

---

<sup>24</sup> 電圧と電位差は多くの場合、同じ意味です。厳密に区別して使わなければならない場合もありますが、ここではその説明は省略します。

輸送の考え方は普遍的に通用するのです。

### 空間中の電界と磁界

さあ、どこを電気エネルギーは流れているのか、その様子をさらに詳しく説明しましょう。といっても、今までの説明が分かっていたら、複雑なことではありません。

電線の周囲には電界の場（電場）と磁界の場（磁場）ができていることを、「電気を科学する」（P.11～）で説明しました。それでは、電線の周囲には電圧によって電界が、電流によって磁界がそれぞれ発生していることを実感してみましょう。そのために、送電線には鳥がとまるのかとまらないのかのクイズ（P.51～）を、本格的に考えます。

都市を出て郊外に行くと、高圧送電線を見ることができます。その近くに行くと、特に雨の日にはジリジリという雑音が聞こえることがあります。この音はどのようにして出るのでしょうか。さらに、街中の電線には鳥がとまっていますが、超高圧送電線に鳥がとまっていることはありません。どうしてでしょうか。

2本の平行な電線があって、その間に電圧がかかっている状態を考えてみます。手を近づけて電線にさわれば感電する恐れがあります。しかし、触らなければなにも感じません。感じないのは電圧が低いからなのですが、実は2本の電線周囲の空間には電線の表面に誘起されている電荷（電圧がかかっているということは、それぞれの電線に正負の電荷が誘起されているということです）から湧き出している電界が生じています。そ

れをイメージするために、電気力線<sup>25</sup>という言葉を使います。電気力線がプラス側からマイナス側の電線へと連結して(伸びて)いるわけです。電線周囲のあらゆる場所は、電界とその電気力線で満たされています。何10万ボルトもかかっている超高压送電線ともなると、特に電気力線の集中する電線の表面での電界は極端に大きくなります。

その強い電界によって、雨の日には電線に近い周囲の空間で間欠的な放電が起こって、ジリジリという音を出すのです。放電が起きれば音がするのは、雷現象で皆さんも知っているでしょう。高压送電線を保守する電力会社の作業員の方に話を聞くと、鉄塔に上って電線に近づくと皮膚全体がチリチリしてイヤな感じを受けるそうです。街中の配電線(6,000ボルト[V])には鳥がよくとまっています。しかし50万Vの超高压送電線に鳥がとまっているのは見たことがないと思います。鳥もこの電界の強い場所には、不気味な感じがして近づきたくないのでしょう。

### **電気エネルギーが伝わる場所**

次には、電圧と電流の両方が加わっている電線を考えてみましょう。電気エネルギーの流れる量である電力(ワット)は、電圧(ボルト)と電流(アンペア)の積です。電圧と電流は、それぞれ電界と磁界を周囲空間に発生していますから、「電力

---

<sup>25</sup> 「でんきりきせん」と読みます。電界の強さと方向をイメージするために使う言葉です。実際に線が見えるわけではありませんし、プラス側電線からマイナス側電線を線で結んでいるわけではありません。両方の電線の間で電界が生じていることを表す、本格的な表現方法です。

＝電圧×電流」とは、言い換えると空間内の「電界×磁界」ということになります。つまり、電力は空間内の電界と磁界との積によって運ばれるのです。専門用語でこれを「ポインティングベクトル」と呼び、その大きさは単位断面の空間を流れる電力（の面密度）、方向は電界と磁界の両者に直交する方向であって、今の場合は電線の方向となります。ポインティングベクトルという名前は、この現象を解明したジョン・ポインティングを記念してつけられています。

「電圧と電流」の項 (P.31) で、電池で豆電球をつける実験の話をし、本章の P.55 で、電池で豆電球をつける実験の場合、電池の電圧が2本の電線に沿って豆電球にまで運ばれ、その電圧が豆電球をつける話をしました。なぜ豆電球が光るのかも、実は同じ理屈なのです。電気エネルギーは電池の側面から空間に放射し、それが一對の絶縁電線（銅の合金線）の周囲に導かれ、空間を電線に沿って光の速度で電界と磁界（電磁界）として流れてゆき、最後は豆電球のフィラメントの側面から内部に流入して、フィラメントの持つ抵抗によって熱のエネルギーとなってフィラメントを加熱し、その熱によって白熱したフィラメントが光を発しているのです。電気エネルギーが電磁界として流れる様子を図示したものが、図 39 です。スイッチを入れた瞬間には、まだ豆電球は光りません。電気エネルギーが豆電球の両端に達してフィラメントが熱せられた瞬間に、豆電球は光ります。その間には光が伝わるのと同じ時間が必要です。電線の長さが 3m だとすると、スイッチを入れてから光るまで、約 10 ナノ秒 (0.00000001 秒) の時間が必要です。



電池は直流です。では交流になったらどうなるのでしょうか。  
 図3 (P.8) を思い起こしましょう。「家庭のコンセント」の周波数は 50 Hz とか 60 Hz です。電池と豆電球の場合と同じ

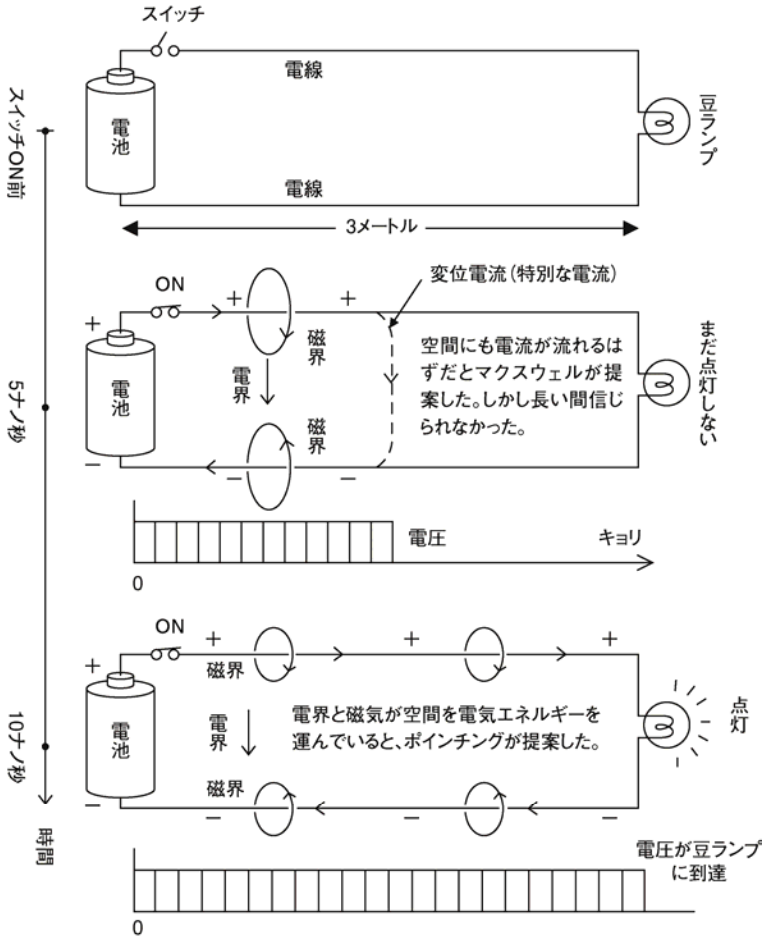


図 39 スイッチを入れてから豆電球が光るまで  
 (電気エネルギーの伝搬)

ように、電線があります。電気エネルギーも発電所から皆さんの家庭の電気製品まで、電磁界として送られてきているのです。同じ図 3 には、「放送」とか「ケータイ」もあります。これらは無線です。電線がありません。この場合には、実は交流電磁界の周波数が高くなって、信号の電気エネルギーは電線がなくても空間を伝わるのできるのです。通信の信号は光の速度で伝わります。

電気エネルギーは電界と磁界の存在する空間を流れるのであり、それは絶縁材料（空気とか真空）を通して流れることになります。よって、電気工学の進歩は絶縁材料の進歩によってもたらされた、といっても過言ではありません。

では、通信や放送より周波数が高くなったら、どうなるのでしょうか。図 3 に関連して、可視光とか赤外線、紫外線の話をしました。これらは人工的にも作れますが、そもそも太陽からの光です。光も電磁気学的に言えば、電磁波なのです。太陽が出す電磁波のエネルギーが、光として地球に送られ、私たちの生命を育てているのです。

私たちは、いまエネルギー問題とか環境問題に直面しています。改めて、エネルギーとは何なのか、エネルギーとどのように向き合うべきなのかを考えてみましょう。

## 本冊子の企画趣旨について

2011年3月11日に発生した東日本大震災で、多くの発電所や変電所の運転が止まり、電気が供給されなくなる事態が発生しました。日本では、電気はスイッチを入れればいつでも、どこでも、欲しいだけ使える状態が当たり前になっていましたので、市民生活にも社会活動にも大きく影響しましたが、その一方で人々の電気に対する関心が高まりました。

電気は便利なものですが、エネルギー資源は有限であるという制約の中で、正しく、賢く使うべきものでもあります。電気学会は、電気に対する理解を広く一般の皆様に深めていただくことが、重要で有用なことと考えます。この「電気の知識を深めようシリーズ」は、電気をやさしく、ただし、正しい内容で説明し、電気に対する知識を深め、親しみをさらに増していただくために発行するものです。

2015年8月

電気の知識を深めようシリーズ刊行ワーキンググループ

## 電気の知識を深めようシリーズ刊行ワーキンググループ

主査 石井 彰三 ※

副主査 大来 雄二 ※

副主査 新藤 孝敏 ※

委員 伊与田 功 委員 白田 誠次郎

委員 桂井 誠 ※ 委員 亀田 秀之

委員 神津 薫 委員 酒井 祐之

委員 塩原 亮一 委員 高田 達雄 ※

委員 高橋 一弘 委員 谷口 元

委員 谷口 治人 委員 長谷川 有貴 ※

委員 福田 務 委員 前島 正裕 ※

写真提供 近藤良太郎 氏 ※

(名前の後の※は本冊子担当者を示す)

電気の知識を深めようシリーズ Vol.3

電気の基本を考えてみよう

2015年9月15日 初版発行

2016年9月30日 2刷発行

非売品

---

編集者 一般社団法人 電気学会  
電気の知識を深めようシリーズ  
刊行ワーキンググループ

発行者 一般社団法人 電気学会  
代表者 酒井祐之  
〒102-0076 東京都千代田区五番町 6-2  
Tel 03-3221-7312 Fax 03-3221-3704  
<http://www.iee.jp>

印刷所 株式会社 太平印刷社

---

©2016 Japan by Denki-gakkai

落丁・乱丁はお取替いたします。

本冊子の著作権は一般社団法人電気学会が保有  
しています。内容を改変しての利用・二次利用  
はできません。

(学校教育での使用を目的として内容を改変す  
る場合は、事前に学会までご連絡下さい。)

Printed in Japan



一般社団法人 電気学会

