

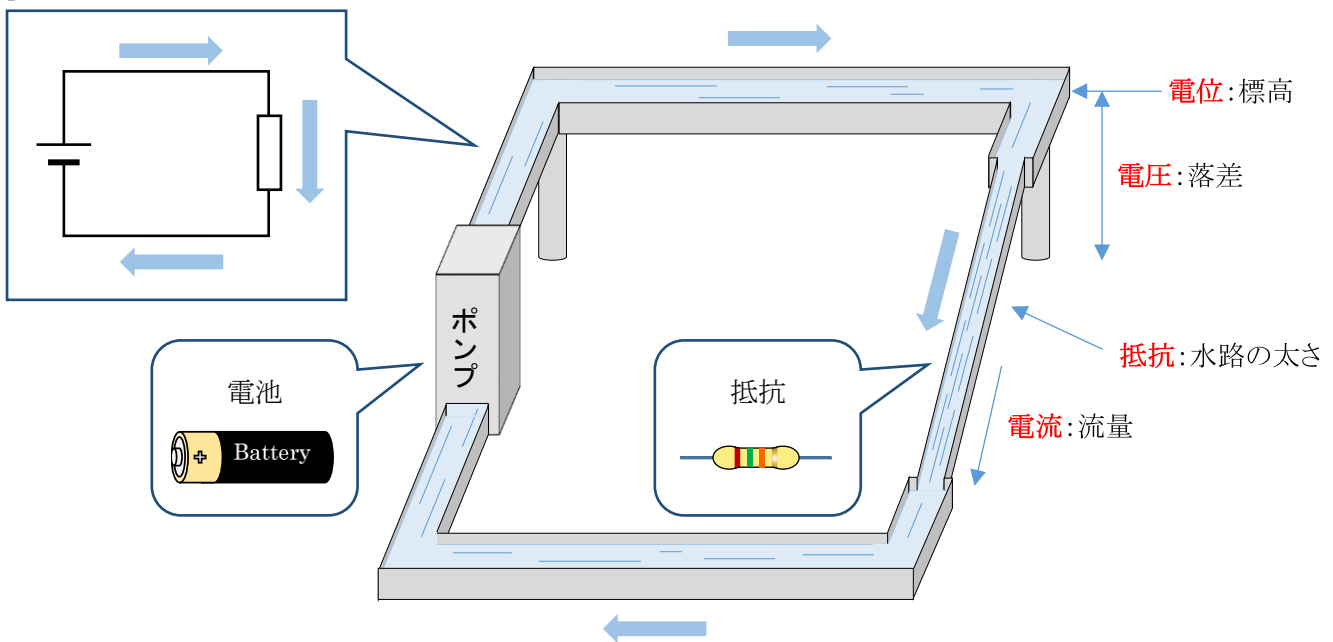
電子工作基礎 Part2

LED の点灯（原理）

オームの法則

では、LED の明るさが暗くなった理由は何なのでしょう。

まず、電気の三要素と言われる**電圧** (voltage), **電流** (current), **抵抗** (resistance) を説明します。下図は電圧、電流、抵抗の関係を水によって表したものです。図の左上の電池と抵抗を接続した回路を模倣的に表しています。最初にポンプによって水が上に運ばれて行きます。この**ポンプは電池などの直流電源に相当**します。そして持ち上げられた水が、右側の水路を通って下に運ばれます。この水路の幅が狭いほど水が流れにくく、広いほど水が流れやすくなります。したがって、**水路の太さが抵抗に相当**します。また、上と下との落差が大きいほど水は勢いよく流れます。この**落差が電圧に相当**し、**流れる水の量が電流に相当**します。また、標高が**電位** (electric potential) に相当し、電位**差**が電圧です。この図で電圧、電流、抵抗の概念をしっかりとつかんでください。



電気の三要素である電圧、電流、抵抗の関係を表したのが有名な**オームの法則** (Ohm's law) です。この法則を発表したのはゲオルク・ジーモン・オーム (独: Georg Simon Ohm, 1789~1854) 氏です。**1V (volt, ボルト) の電圧をかけた時 1A (ampere, アンペア) の電流が流れる場合の抵抗値を 1Ω (ohm, オーム) と定義**し、電圧 $V[V]$ 、電流 $I[A]$ 、抵抗値 $R[\Omega]$ の関係は以下の式で表されます。

$$V = RI$$

三つの要素のうち二つが分かれば、残りの一つは算出することができます。抵抗を求めたいときは $R = V/I$ 、電流を求めたいときは $I = V/R$ とすることで計算できます。例えば、 100Ω の抵抗器に $6V$ の電圧をかければ、

$$6V/100\Omega = 0.06A = 60mA$$

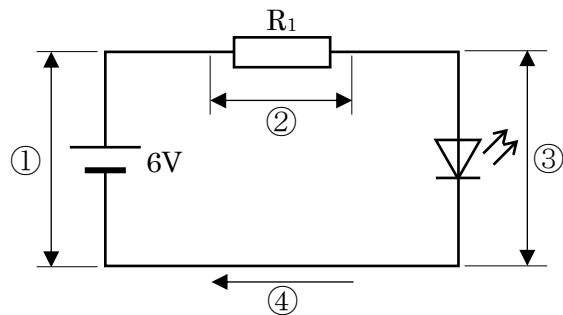
と、^{ミリアンペア}60 mA の電流が流れるということがオームの法則より分かります。この法則は電子工作の中で最も重要な数式といっても過言ではないくらい大事なので、覚えておきましょう。

さて、オームの法則を用いて LED の明るさの変化の謎を解き明かしていきましょう。LED の明るさは流れる電流の大きさに比例しますから $I = V/R$ を使います。電圧は一定なので、R を大きくすれば I は小さくなるという関係にあると分かります。以上のことから LED の明るさが暗くなった理由は、**抵抗値を大きくしたため、流れる電流が少なくなり、それにともなって LED の明るさが暗くなった**ということです。

$$V = RI \quad R = \frac{V}{I} \quad I = \frac{V}{R}$$

Let's try!

さて、オームの法則を知ったところで実際にどうなっているかを確認しましょう。回路図で示されている①～③の電圧と④の電流をテスターで測定しましょう(テスターでの測定方法は次節参照)。R₁(1 つめの抵抗のことをこう呼びます)が 220Ω の時と 10kΩ の時でどのように変わるでしょうか。

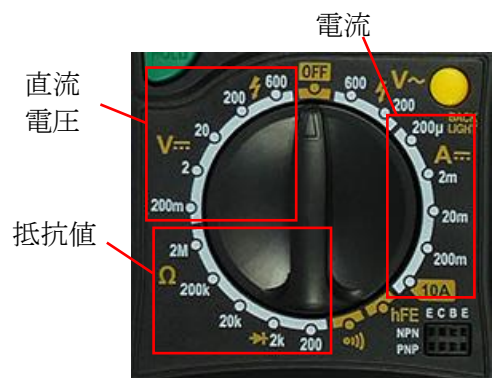


	①	②	③	④
R ₁ が 220Ω の時	V	V	V	A
R ₁ が 10kΩ の時	V	V	V	A

テスターの使い方

測定レンジ

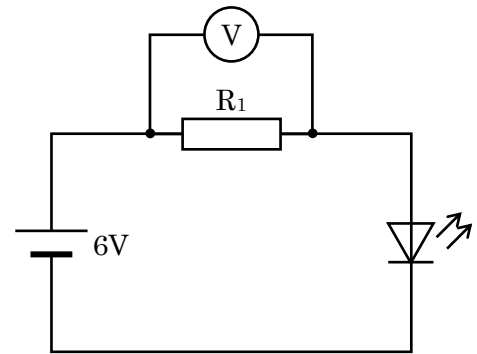
中央にある大きなダイヤルで電圧、電流、抵抗値などの測定を切り替えます。Vーや DCV などと書いてあるのが直流電圧、A と書いてあるのが電流、Ω と書いてあるのが抵抗値を測定するレンジです。またその中にも、200k や 20 などといった数字と書かれていますが、これは測定できる範囲を表しており、直流電圧の 20 であれば「20V まで測れます」という意味です。これを超えてしまうと壊れてしまう可能性があるため、測定範囲の大きいレンジから測定するのが一般的です。



写真は秋月電子通商カタログより
<http://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-12542/>

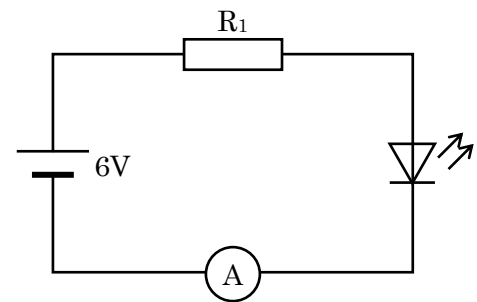
電圧の測定

電圧の測定は測定したい2点間にそれぞれテストリードを**並列**に接続します。今回は電源電圧が6Vだと分かっており、最大でも6Vということが推測できるため、初めからレンジを設定しても構いませんが、電圧が不明の場合は最大のレンジから徐々に小さいレンジに切り替えていくことが大切です。また、テストリードには赤と黒がありますが、赤を電位の高い方に、黒を電位の低い方にそれぞれ接続します(間違えてもデジタルであればマイナス〇〇Vと表示される)。例えば、 R_1 にかかる電圧を測定したい時は、右図のように R_1 と並列に接続します。ただし、図中のⓋは電圧計を表します。



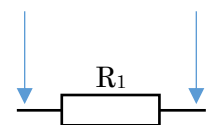
電流の測定

電流の測定は測定したい箇所を切断し、そこに**直列**に挿入する形で接続します。そのため、はんだ付けされた回路の電流を測定するのは大変ですが、ブレッドボードでは簡単に測定することができます。こちらも電圧の測定と同じく、最大のレンジから徐々に小さいレンジに切り替えていくことが大切です。電流の測定の場合は、小さいレンジで大電流を測定しようとするときューズ*4が飛んでしまい、そのテスターではヒューズを交換しない限り2度と電流を測定できなくなってしまうため、特に注意が必要です。また、同じくテストリードの赤を電位の高い方に、黒を電位の低い方にそれぞれ接続します。例えば、回路に流れる電流を測定したい時は、右図のように一度切断し、そこに挿入する形で接続します。ただし、図中のⒶは電流計を表します。



抵抗値の測定

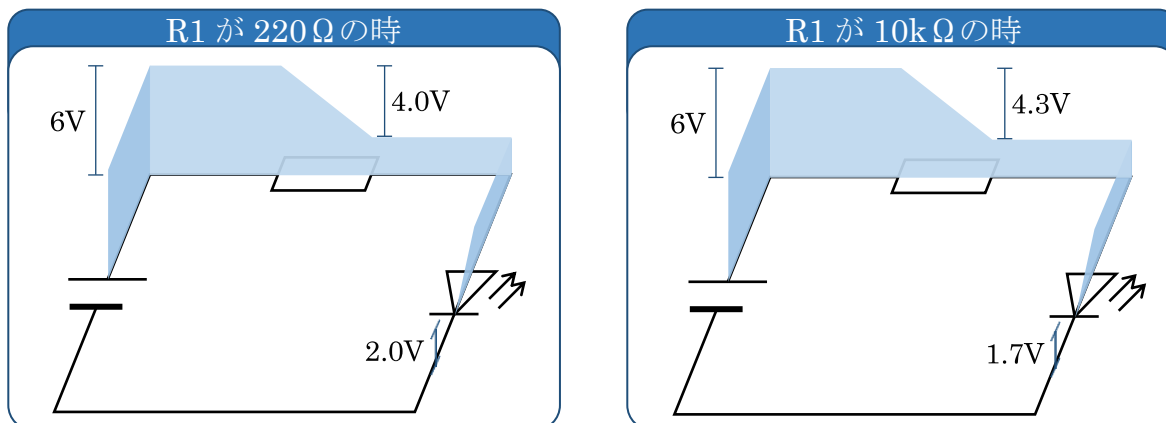
抵抗値の測定はテストリードを測定したい2点間に接続します。抵抗値を測定する場合、電源はテスターから供給されるため、回路で供給する必要はありません。今回抵抗値を測定することはありませんが R_1 の抵抗値を測定したい時は、右図の矢印の部分にテストリードをただつなぐだけで構いません。また、プラス側やマイナス側の区別がないのでどちらに接続しても構いません。



*4 ヒューズ(fuse)とは、何らかの異常で大電流が流れた時に内部の金属が熱によって融けて回路を切断することで、内部の回路を保護する目的で取り付けられるもの。一度切れてしまったら交換しなければならない。

解説

確かに流れる電流が減ると、LEDの明るさが暗くなるのが分かったと思います。電圧を模式的に表すと下図のようになります。※LEDの電圧は一般的な赤色LEDのものを示しました。



LEDの電流制限抵抗の計算

測定から分かるように、LEDにアノードからカソードの順方向で電流を流すと電位差が生じます。この電圧降下は順方向電圧 (forward voltage, V_F) といい、型番や色ごとに違います。LEDに20mAを流した時の V_F は赤色が1.9V、黄色が2.0V、緑が2.1V、青色が3.1Vほどが標準値ですが、各LEDのデータシートを確認して正確な値を計算に用いるのが望ましいでしょう。ちなみに今回使用した赤色LED(OSDR5113A)に20mA流した時の V_F は2.0Vで、最大電流は30mAです。

- 電源電圧6V、順方向電圧1.9V、LEDに20mA流したい場合

電流制限抵抗にかかる電圧は電源電圧からLEDの順方向電圧を引いた値であるので

$$6V - 1.9V = 4.1V$$

電流制限抵抗には4.1Vの電圧で、20mAの電流が流れているのでオームの法則 $R = V/I$ より、電流制限抵抗値は

$$\frac{4.1V}{0.02A} = 205\Omega$$

これに近く、E12系列(次節参照)の抵抗値は220 Ω となる。

- 公式にした場合

R:電流制限抵抗値, E:電源電圧, V_F :順方向電圧, I_F :順電流 とすると、

$$R = \frac{E - V_F}{I_F}$$

抵抗の系列

LED の電流制限抵抗を計算しましたがその結果、 $205\ \Omega$ となりました。しかし、それは一般に市販されてはいません。当然、すべての抵抗値の抵抗を用意するのではメーカーもたまりません。そこで、JIS で右表のような標準数の系列が決められています。E3 系列から E192 系列まであり、E は Exponent (指数) のことです。これは等比数列^{*5}になっており、E6 系列を使うとすると、 $1\ \Omega$ からの抵抗値は $1\ \Omega$, $1.5\ \Omega$, $2.2\ \Omega$, $3.3\ \Omega$, $4.7\ \Omega$, $6.8\ \Omega$, $10\ \Omega$, $15\ \Omega$, $22\ \Omega$, $33\ \Omega$, $47\ \Omega$, $68\ \Omega$, $100\ \Omega$, $150\ \Omega$, $220\ \Omega$, $330\ \Omega$, $470\ \Omega$, $680\ \Omega$, ……のようになっています。先ほどの計算結果 $205\ \Omega$ は E12 系列なら $220\ \Omega$, E24 系列なら $200\ \Omega$ を使うということになります。通常は E24 系列までに含まれているものを使うべきでしょう。

E3	E6	E12	E24
$10^{\frac{n}{3}}$	$10^{\frac{n}{6}}$	$10^{\frac{n}{12}}$	$10^{\frac{n}{24}}$
10	10	10	10
		12	11
		15	12
	15	18	13
		22	15
		27	16
22	22	22	18
		27	20
		33	22
	33	39	24
		47	27
		68	30
47	47	47	33
		56	36
		68	39
	68	82	43
		100	47
		150	51

*5 等比数列とは最初の項(初項)にある一定の数(公比)をかけ続けていった数列のことです。例えば、3, 6, 12, 24, 48…は初項 3, 公比 2 の等比数列です。この場合 E3 系列では、整数のため多少の誤差はありますが、初項 10, 公比 $10^{\frac{1}{3}}$ の数列になっています。