

エレクトロニクスの基礎(キソ)を学ぶ

—LEDで学ぶエレキソ—

- ・身近なLEDを通してエレクトロニクスの基礎を学ぶ.
- ・PDCAの手法で手を動かしながら簡単な実験を体験する.
- ・基本的なエレクトロニクス部品に対する理解を深める.

東海大学 航空宇宙学科 航空宇宙学専攻

角田 博明

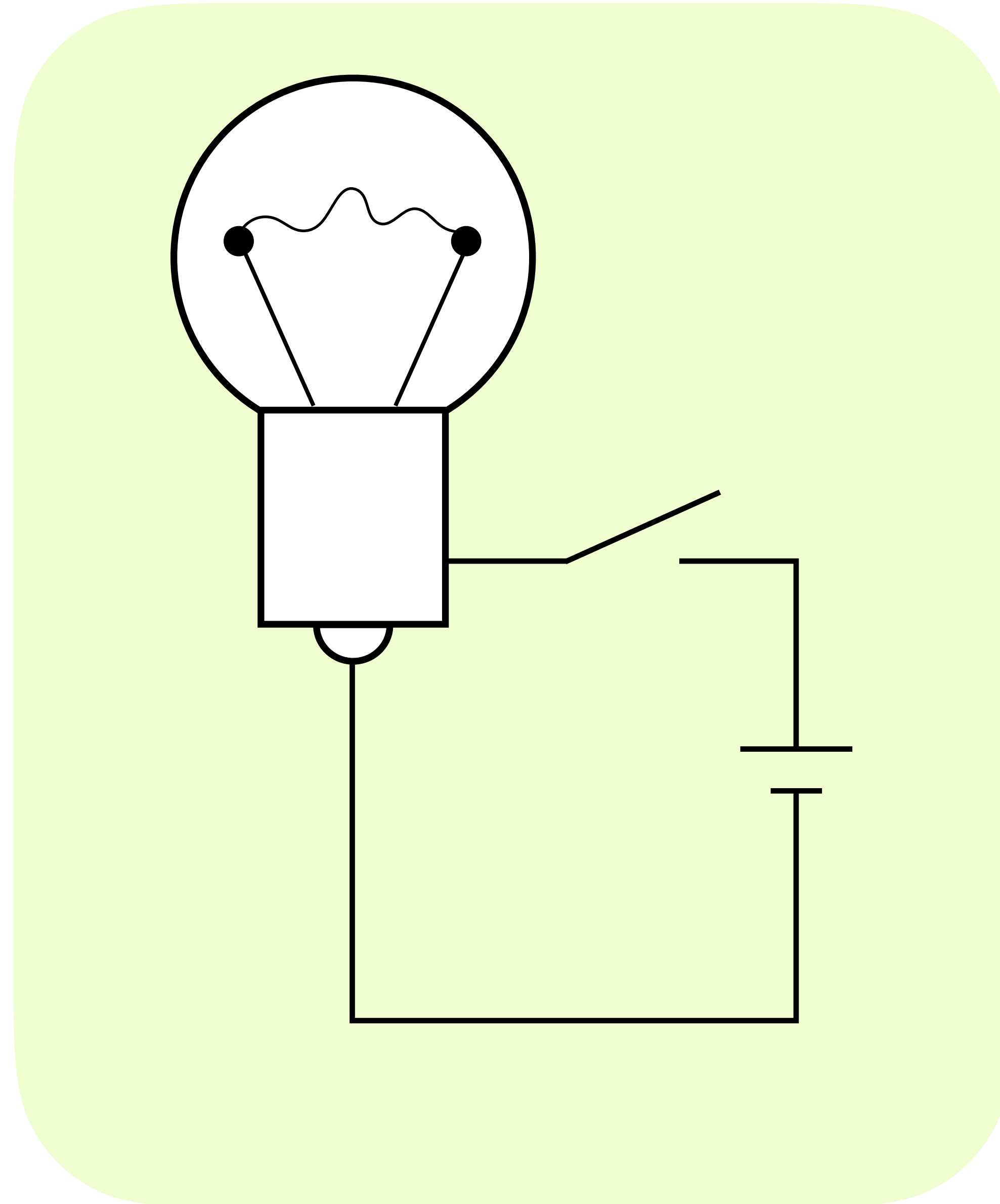
効果的な学び方

- 無理に暗記をする必要はない。
- 必要なことは**自然に覚える**ので気にしない。
- **理屈**や**原理**を理解することに力を注ぐ。
- 理解したことを使って**予測**する（仮説を立てる）。
- 試してみても予測（仮説）が正しかったか**検証**する。
- もし違っていたら、なぜそうなったのかを考えて予測（仮説）を**修正**する。

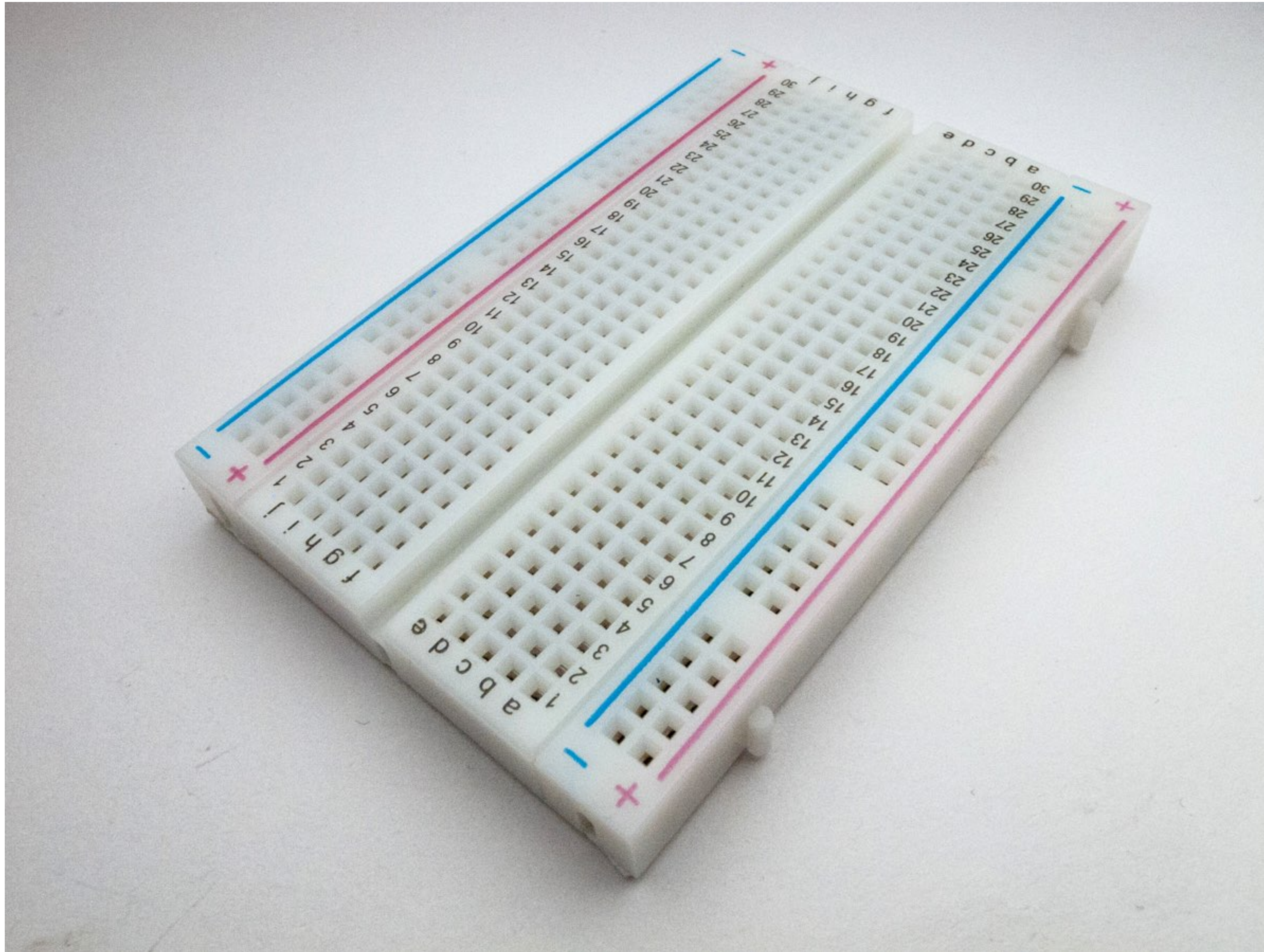
要するにPDCA cycle (plan-do-check-act cycle) です。

第1部

このような回路を組むには？

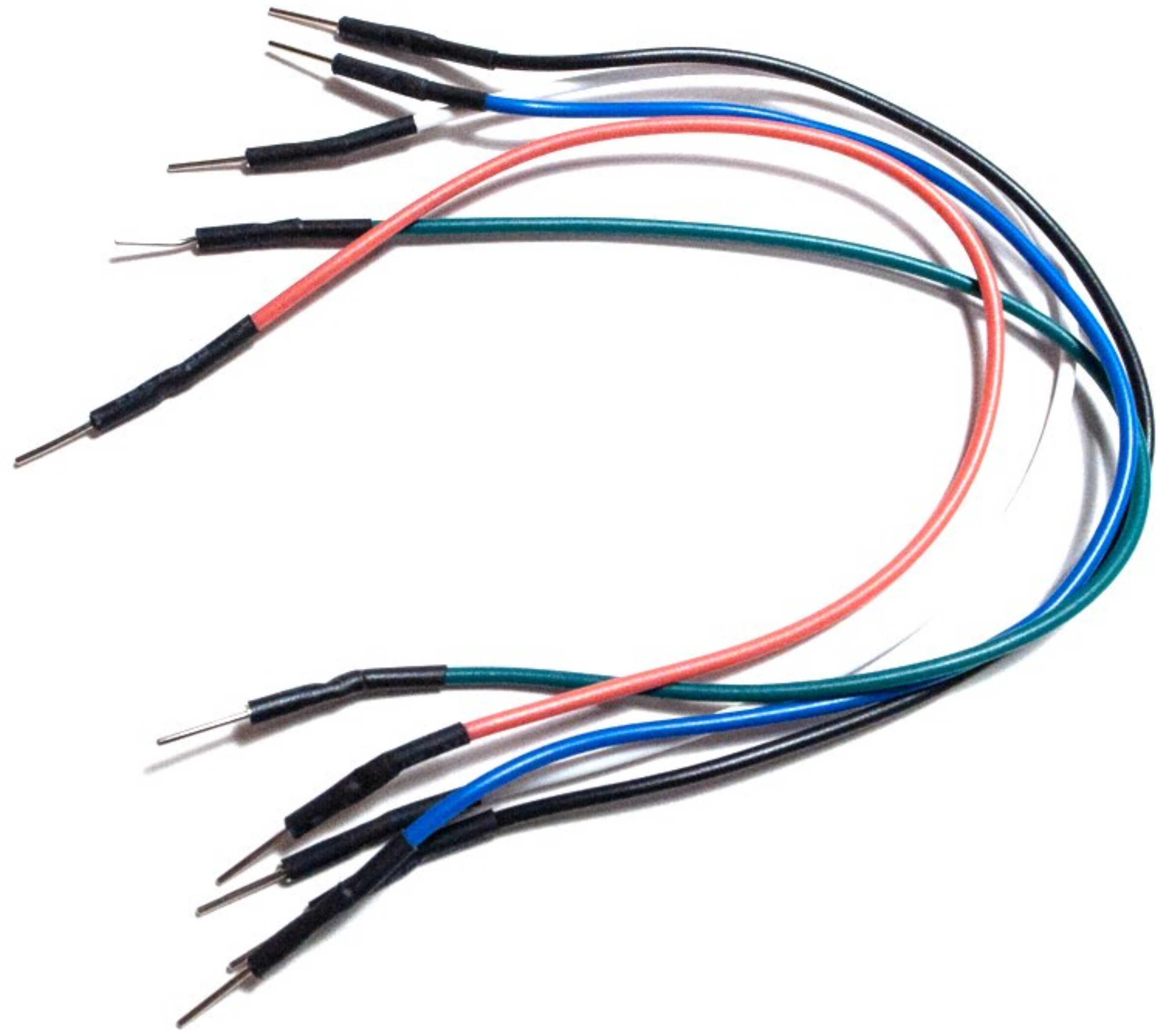


実験の心強い味方「ブレッドボード」



500 mA以下くらい
高周波は無理
(普通のプリント基板
はラインの幅1mmあ
たり約1 A)

ジャンパーワイヤ（リード線）を挿すだけで回路が組める



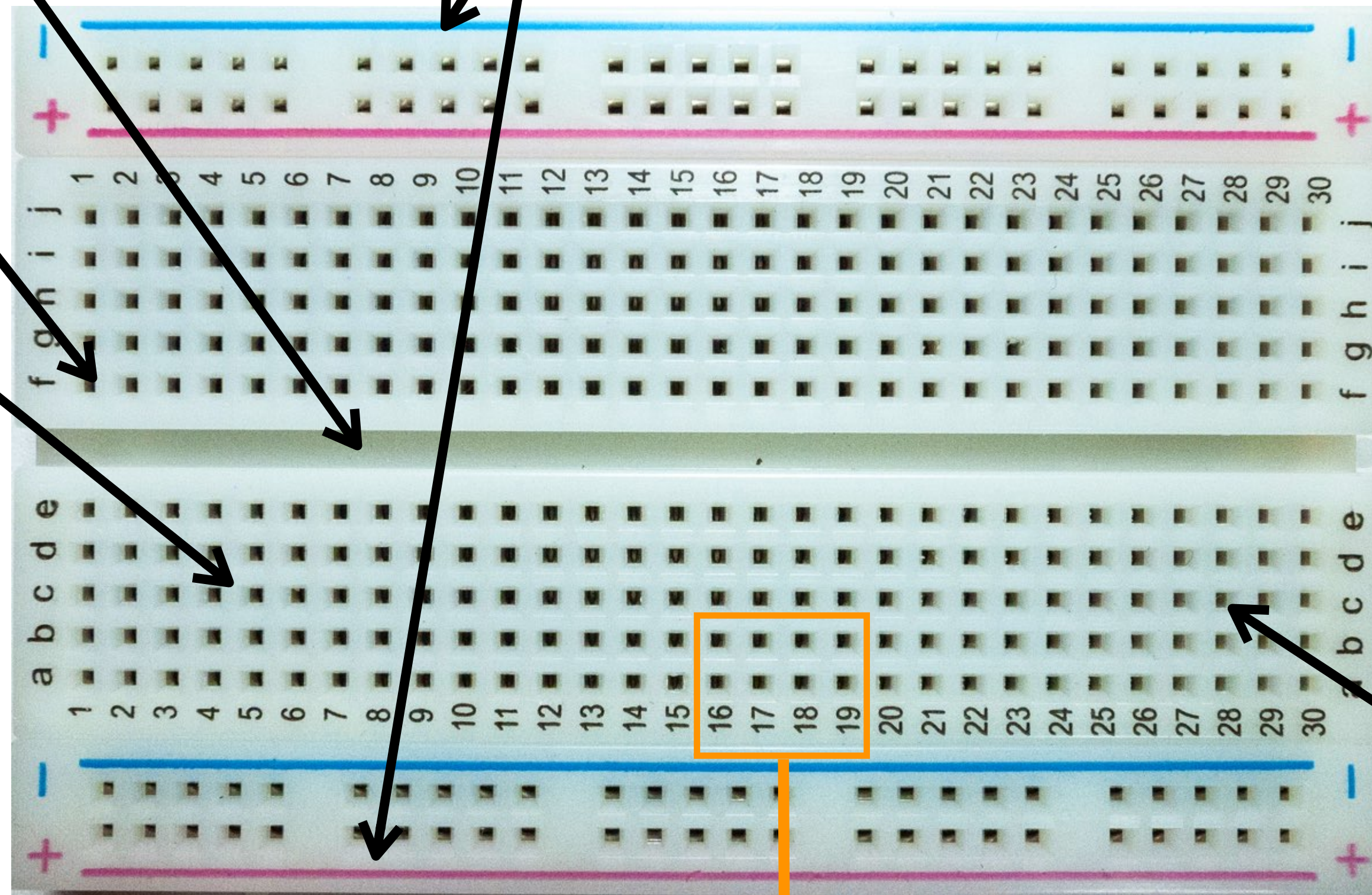
ブレッドボードをマスターしよう

何故、中央に溝があるのか？

上と下にある+、-は何？

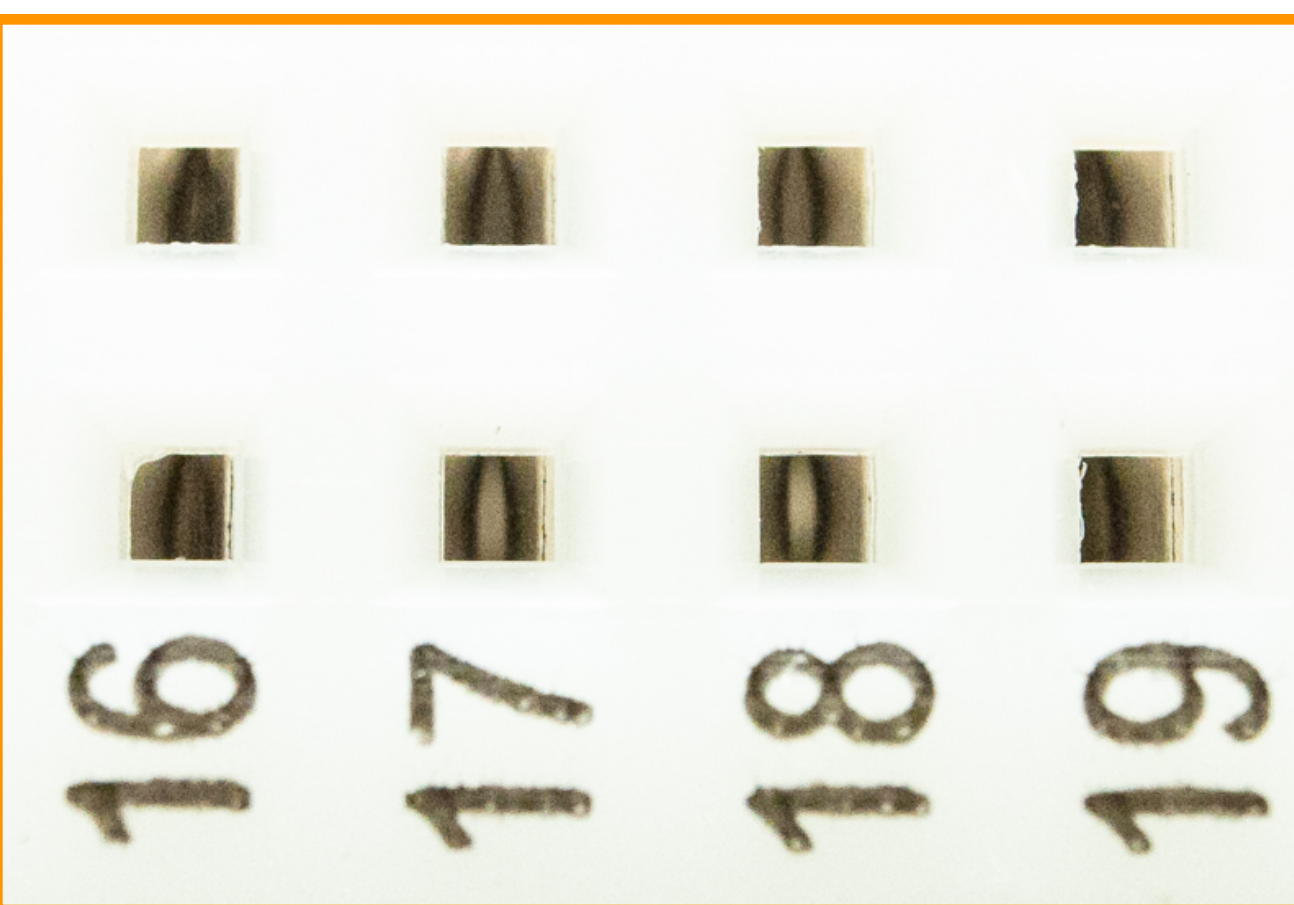
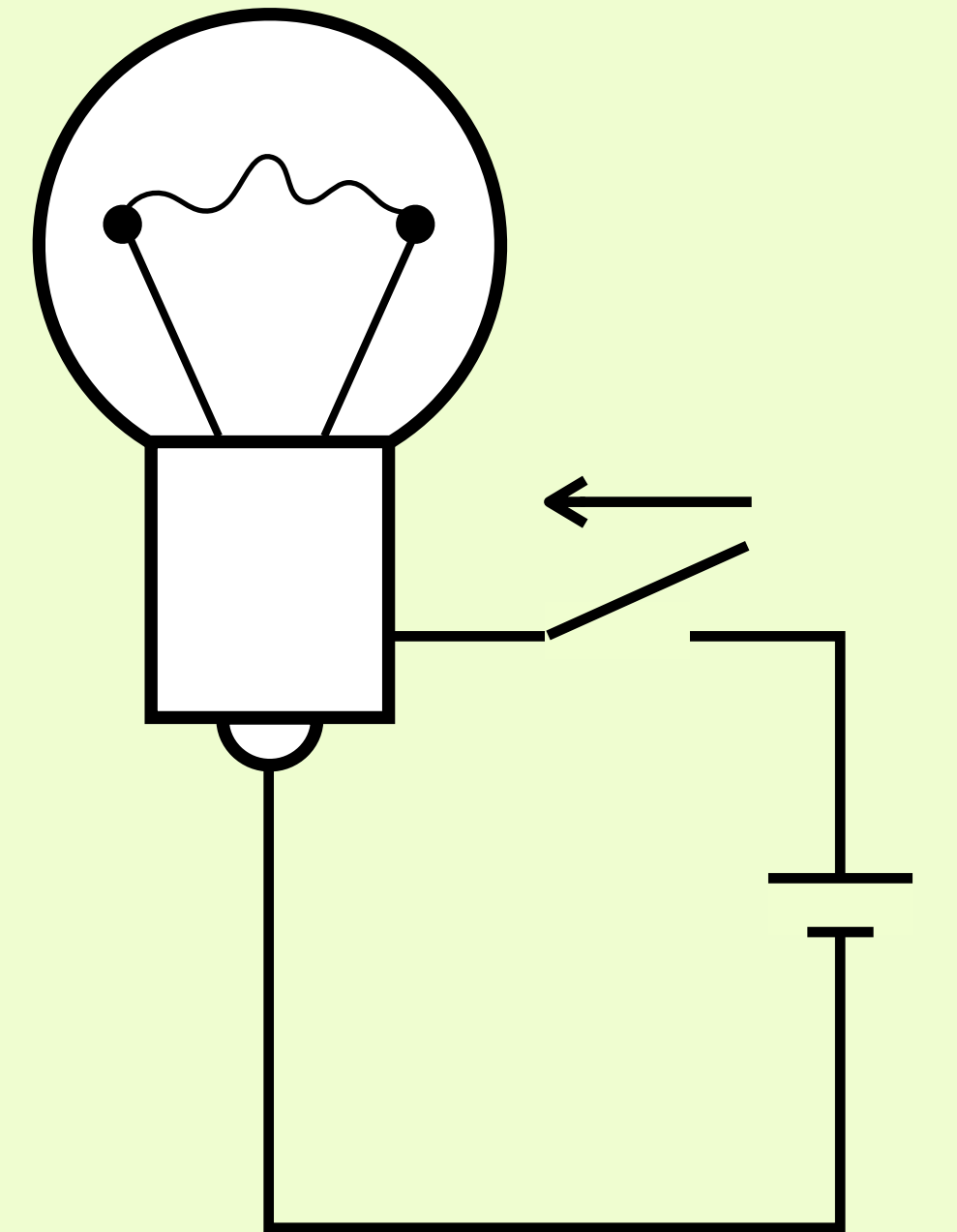
穴と穴の間隔は？

穴の中はどうなっている？

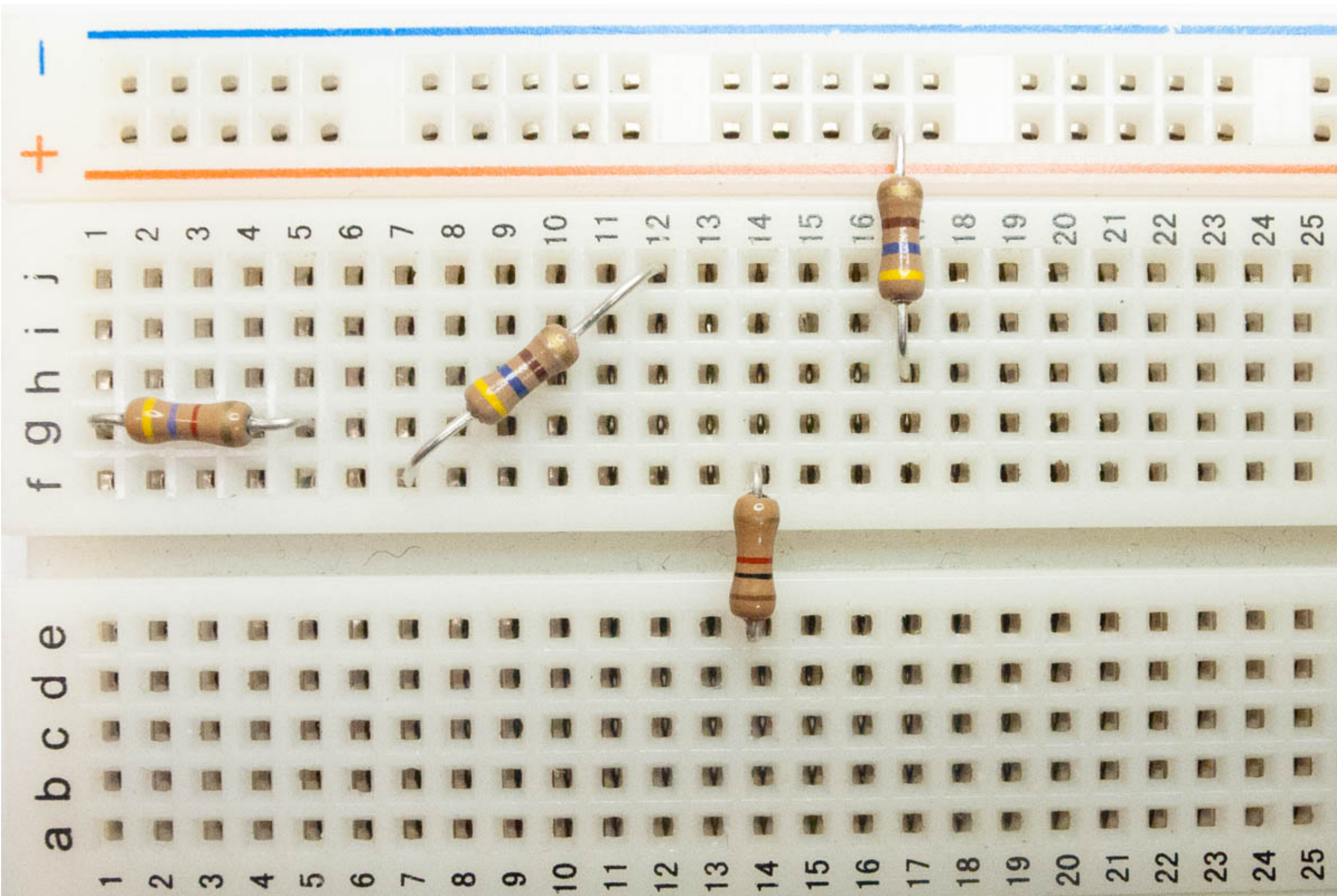


このような回路を組むには？

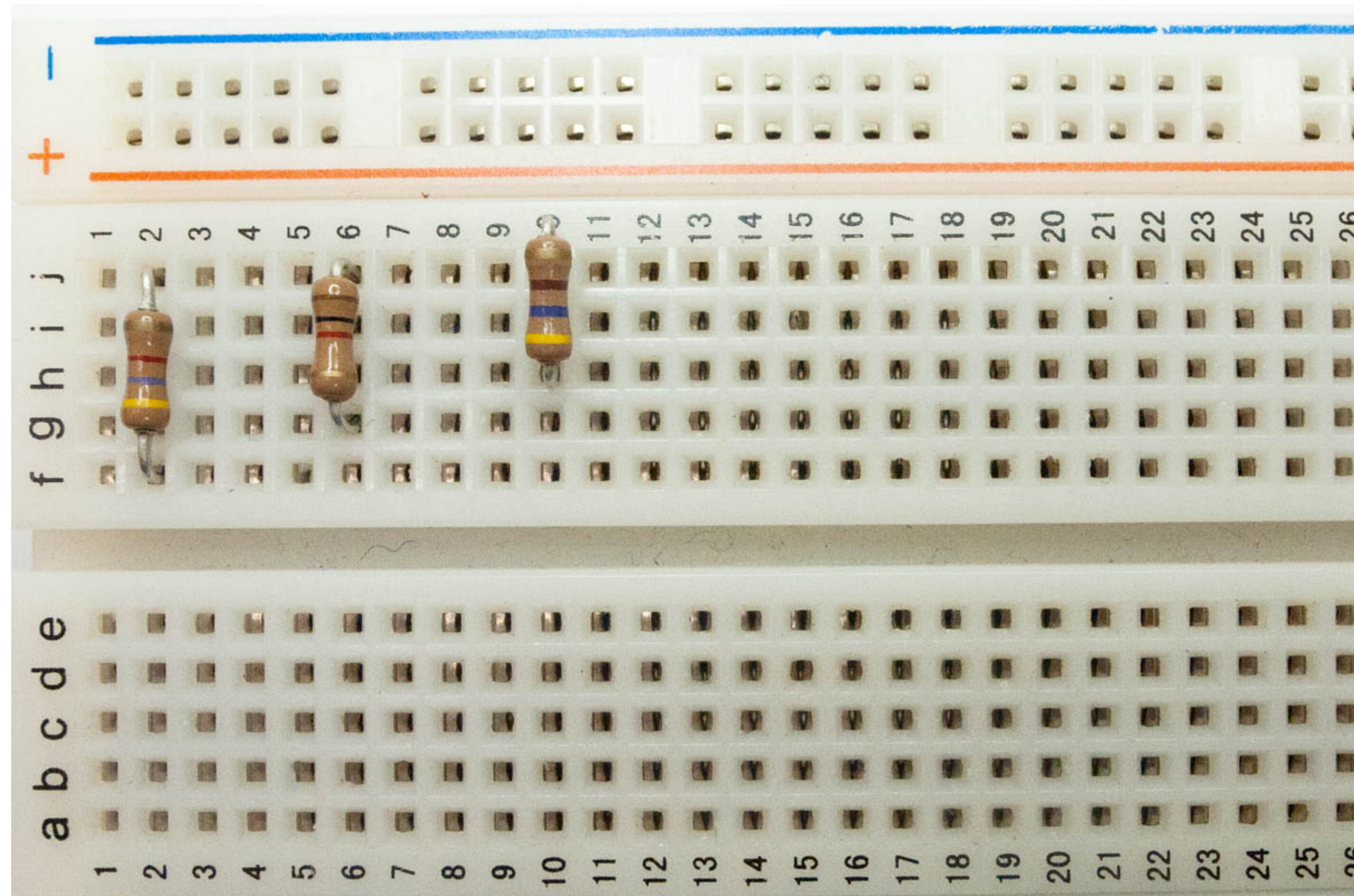
穴はどのように繋がっている？



穴がどのようにつながっているか考えてみよう

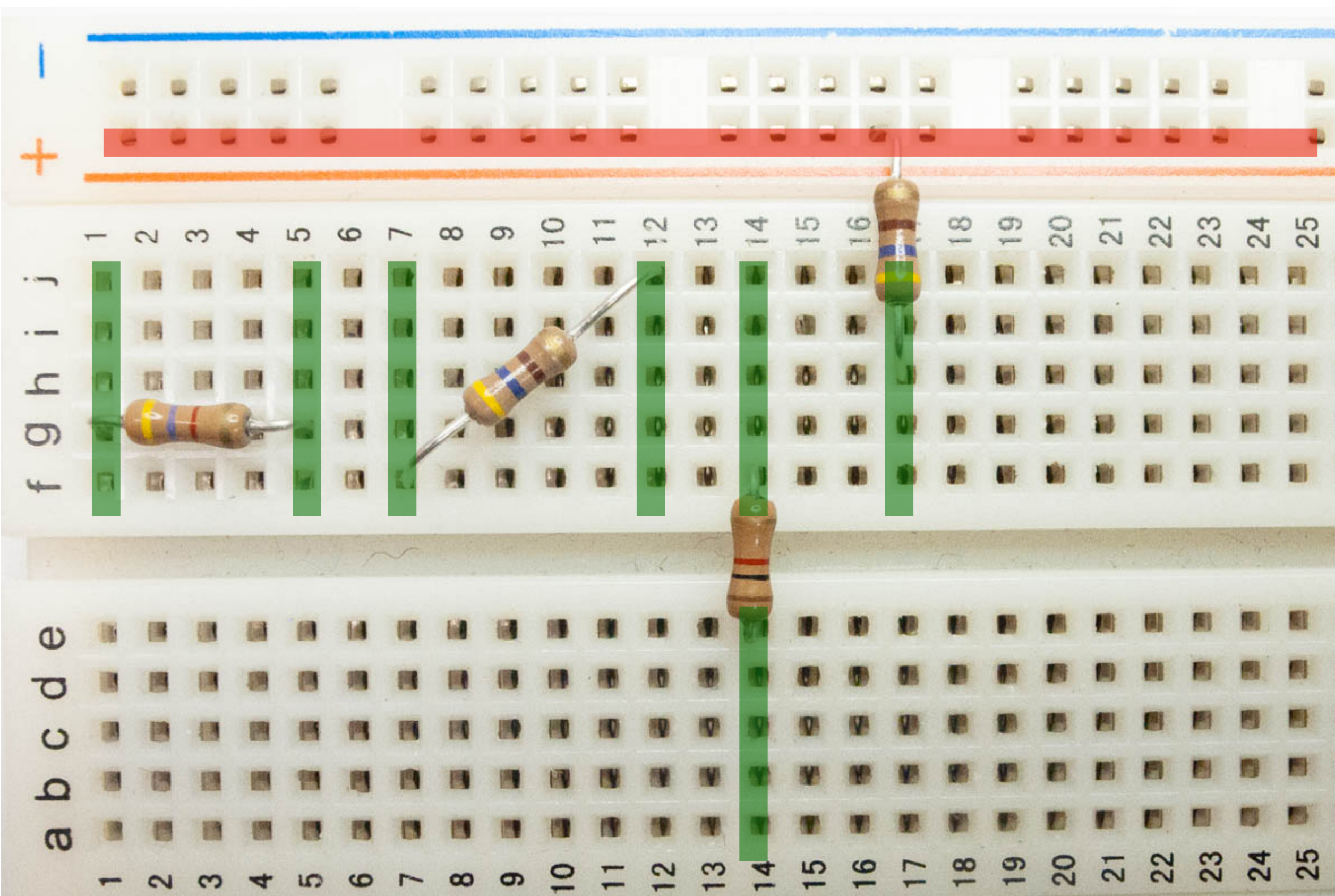


全て○

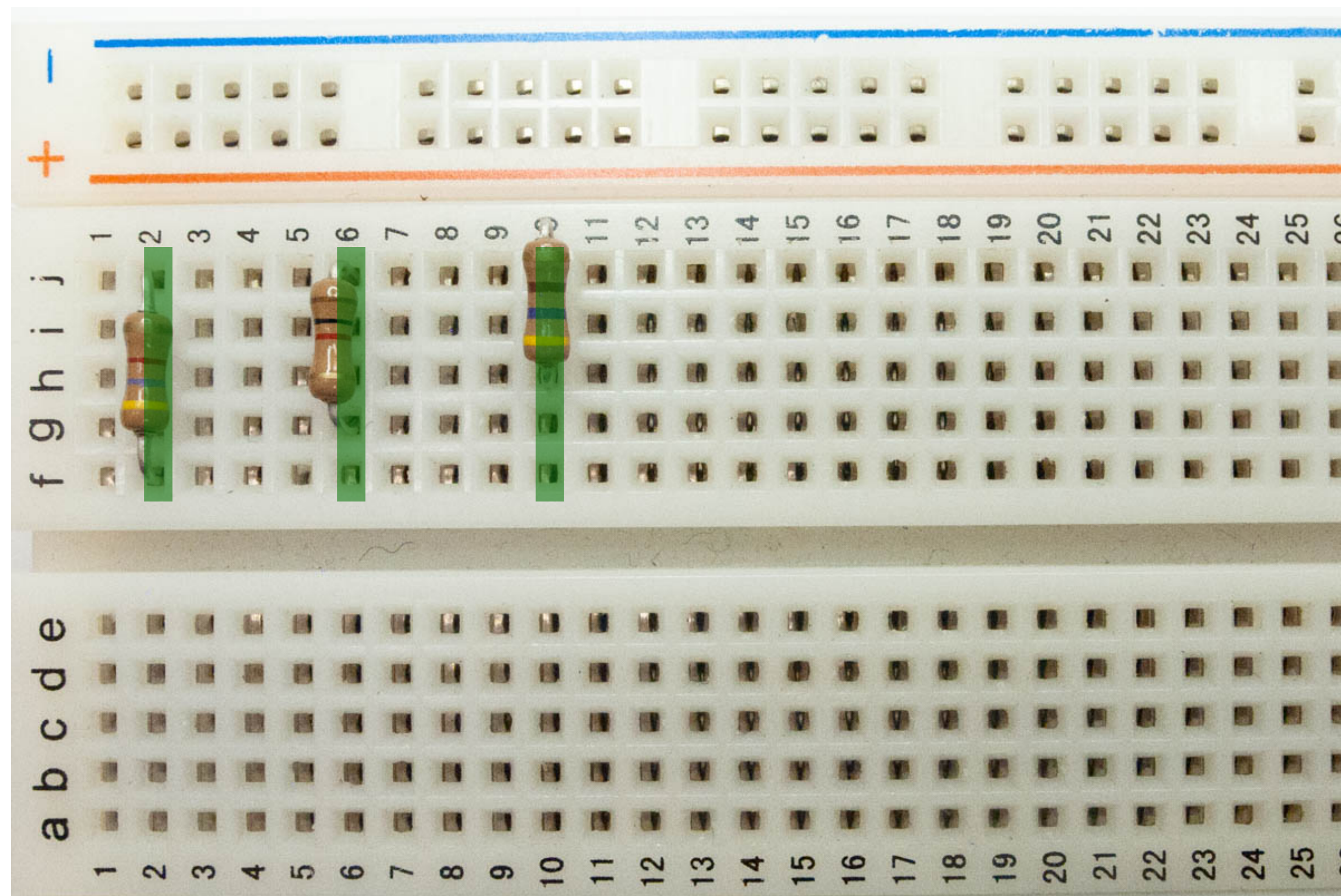


全て×

穴は線で示したように電氣的に繋がっている



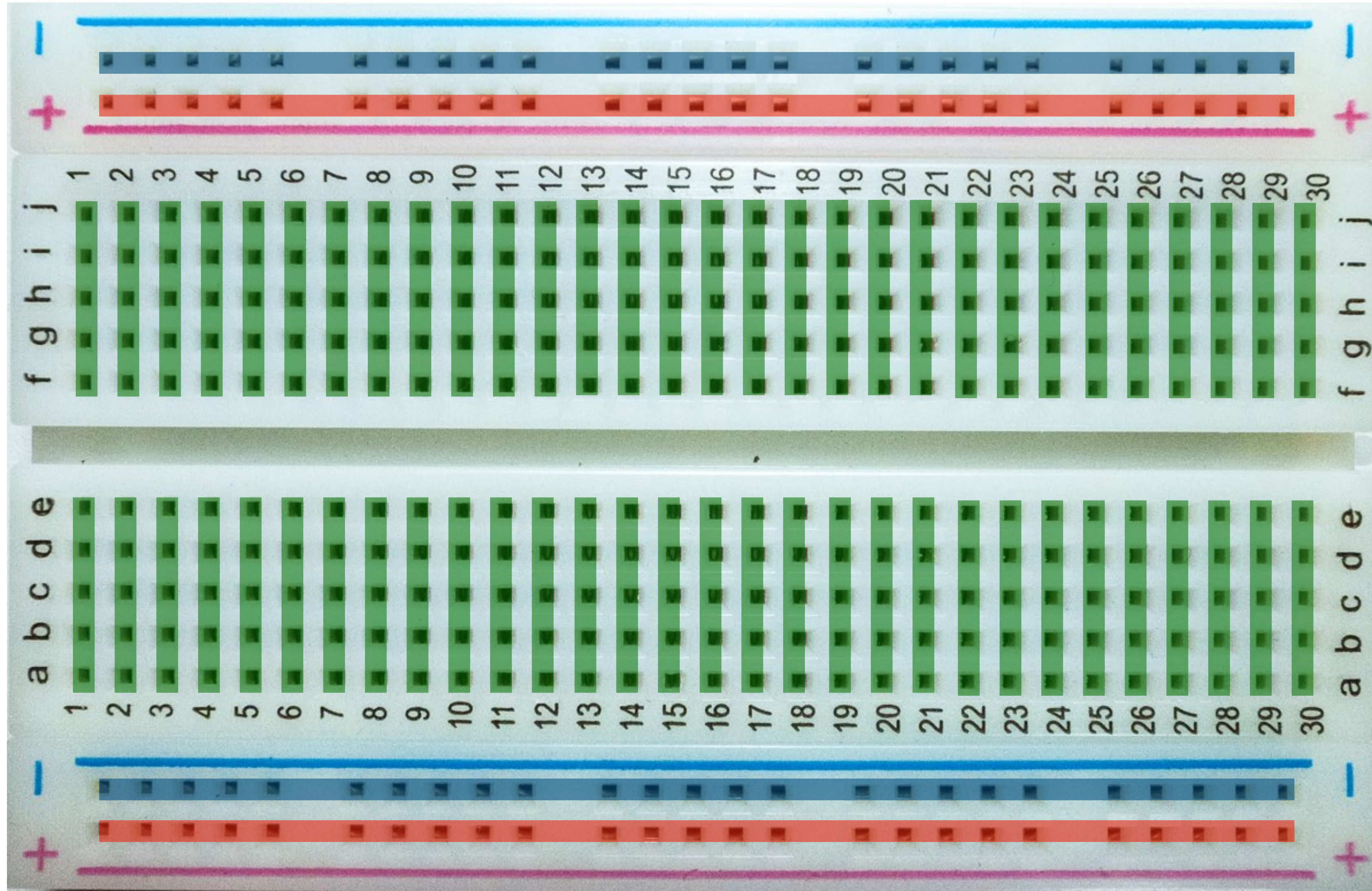
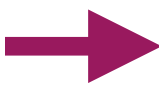
このようにして使う



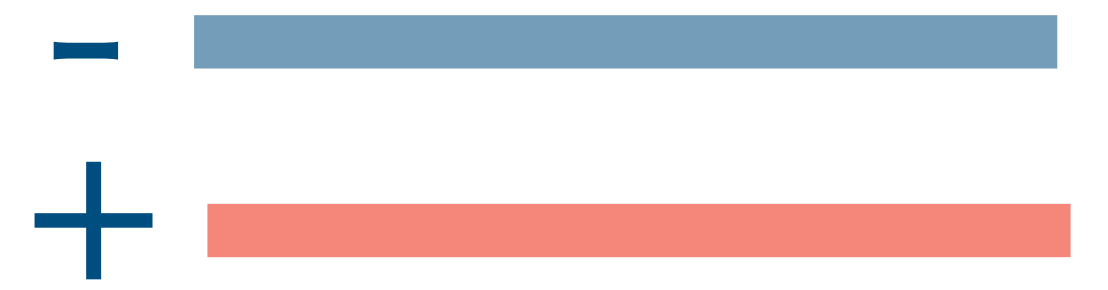
これでは意味がない！

穴は線で示すように導通している

この溝で上と下が電氣的に切れている。



電源を接続して使用



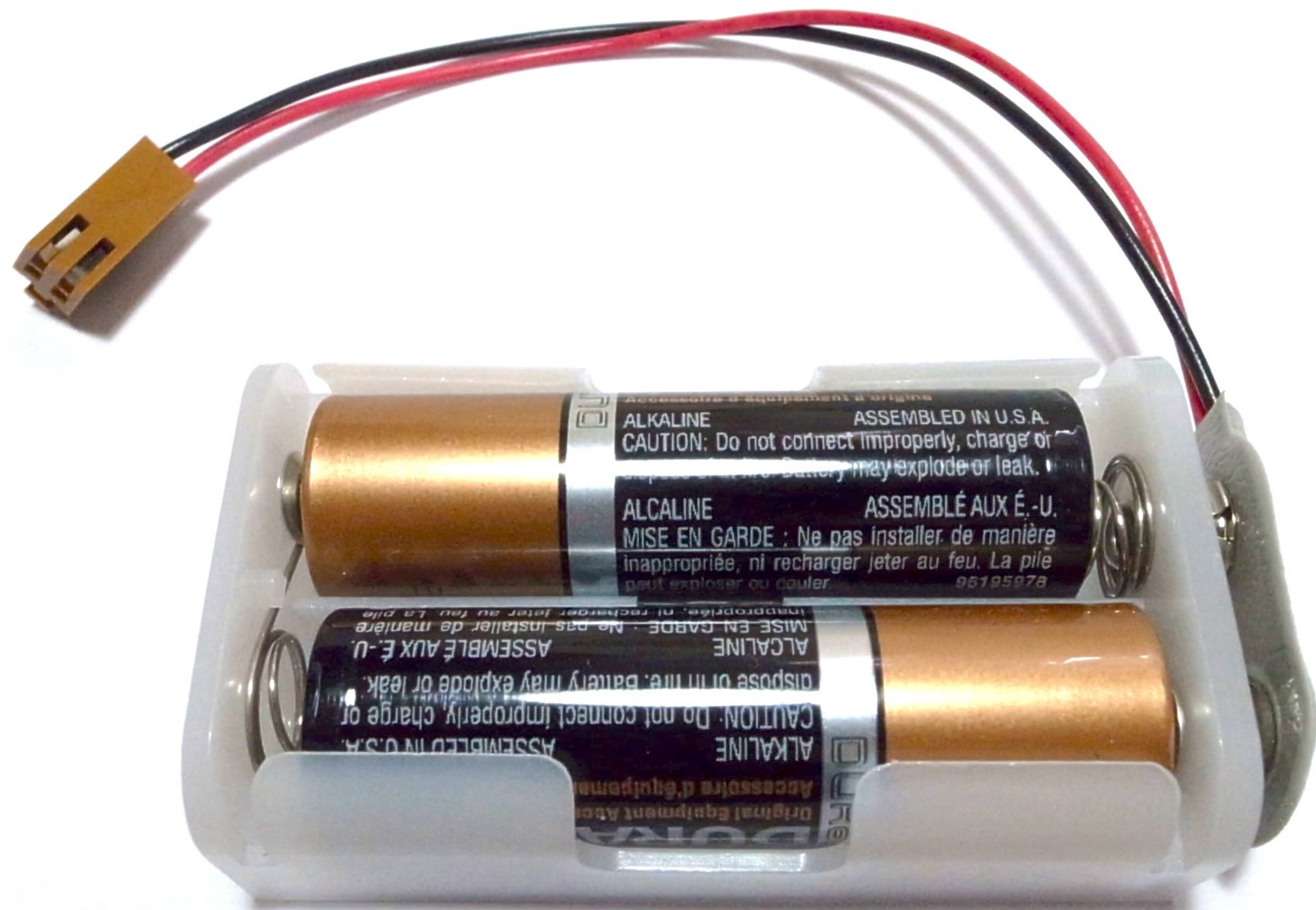
回路エリア



導通=電氣的につながっているという意味

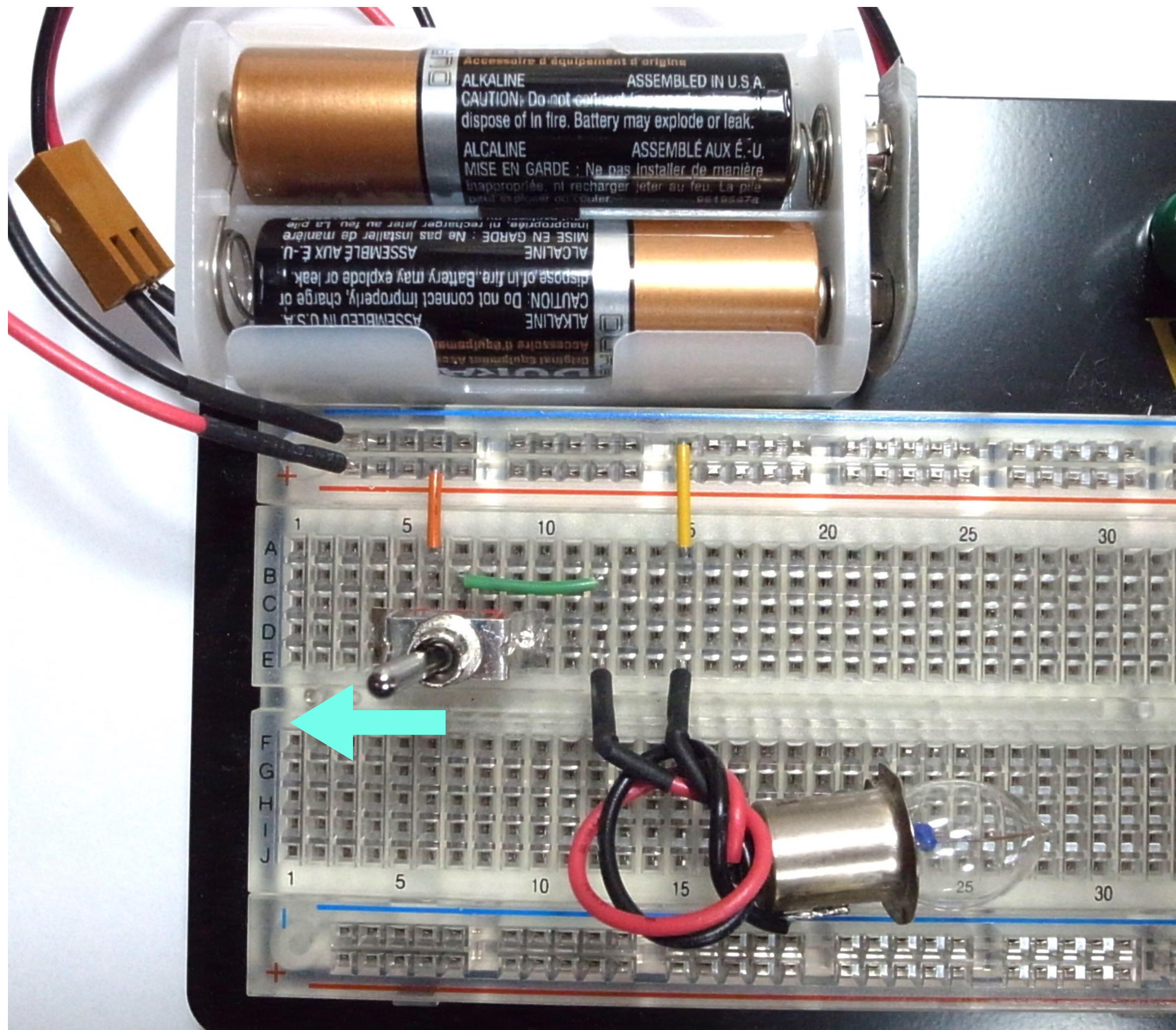
電池

- ・電池の基礎は、入門ゼミナールの2回目「エレキソの前に」で学びました。
- ・ここで使うのは単3アルカリ・マンガン乾電池です。

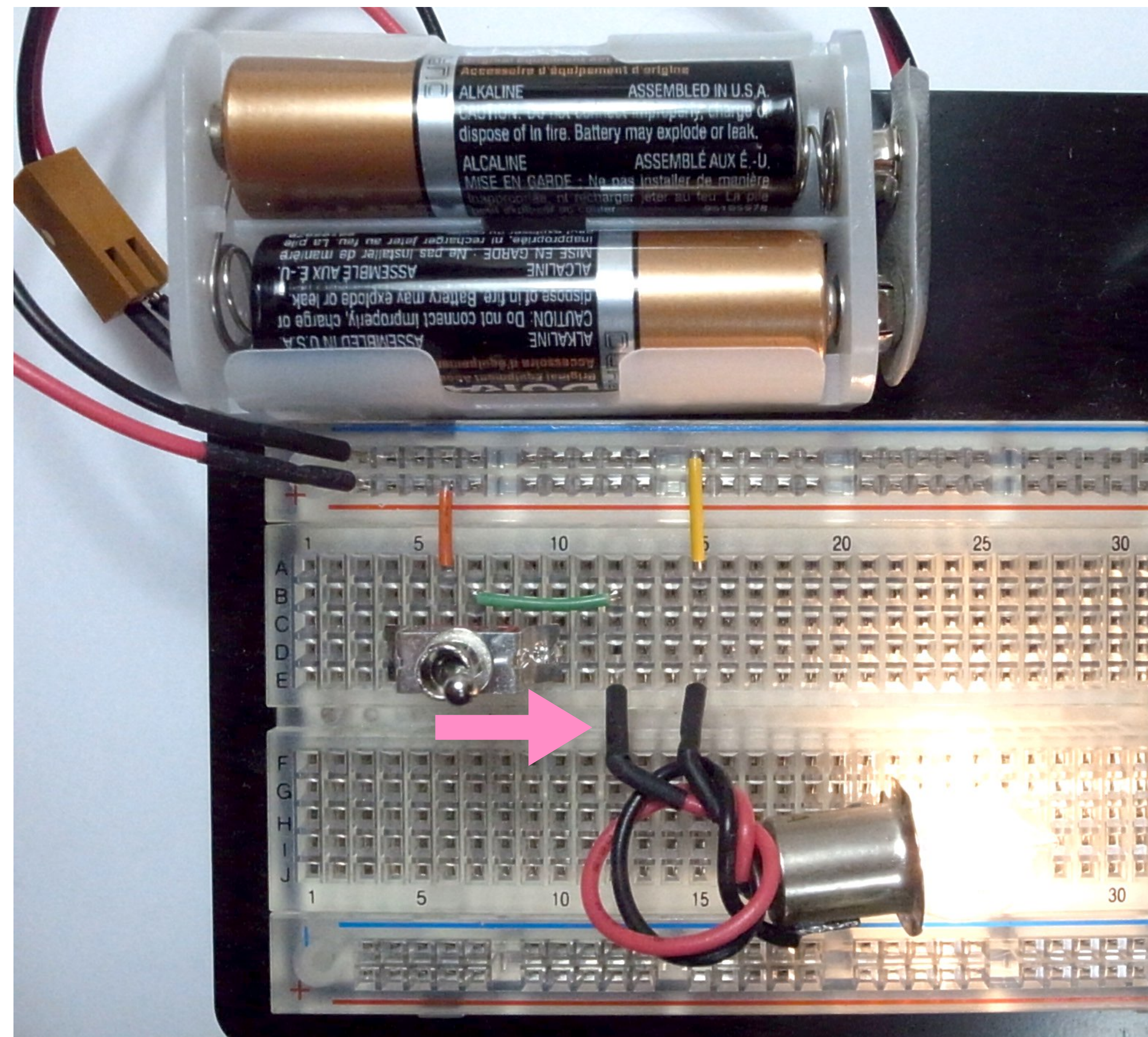


問い：取り扱い上の注意は？

ブレッドボードで回路を組む

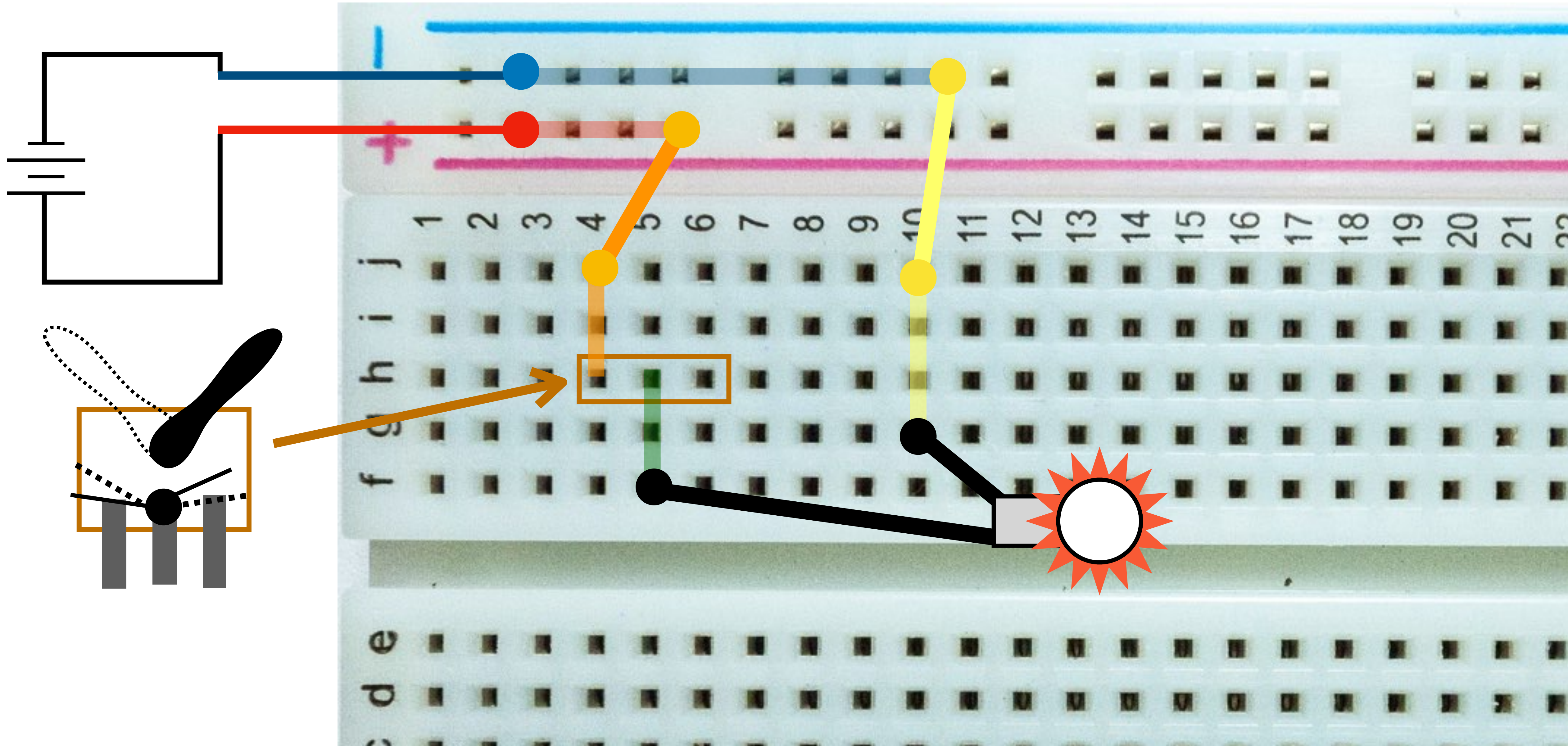


OFF

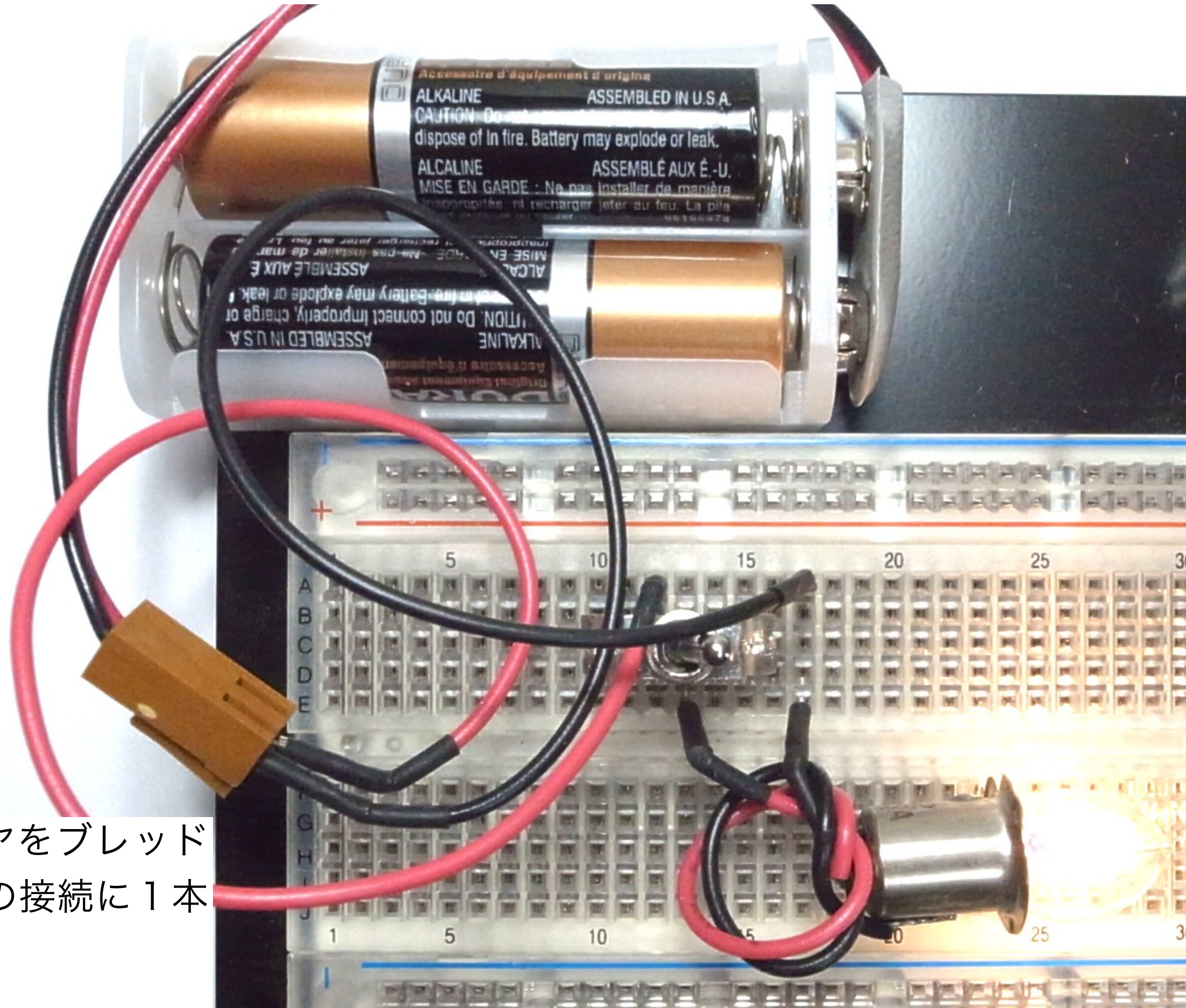


ON

ブレッドボードの上で配線を確認する

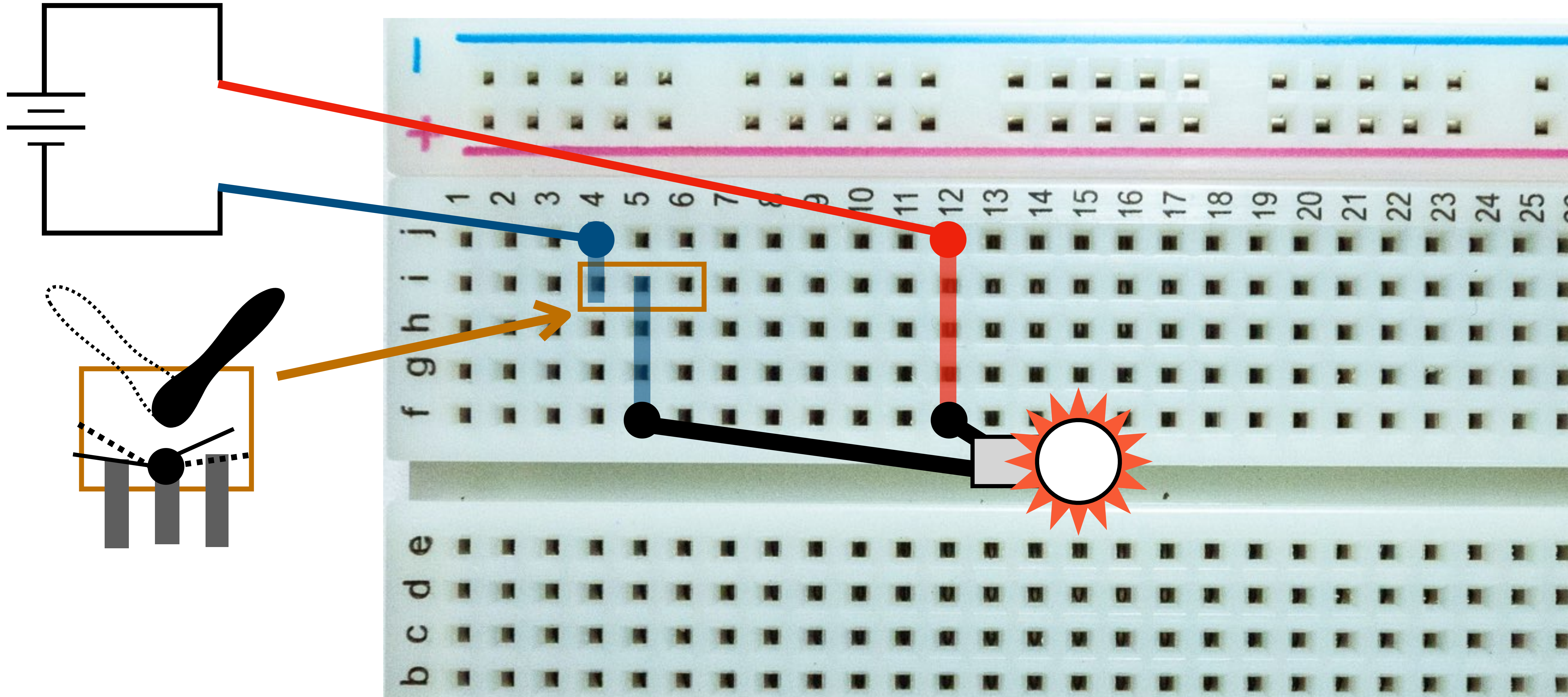


線のつなぎ方はいろいろできる



ジャンパーワイヤをブレッドボードの穴と穴の接続に1本も使っていない。

ジャンパーワイヤを使わない配線の例



LED: Light-emitting diode

キーワード

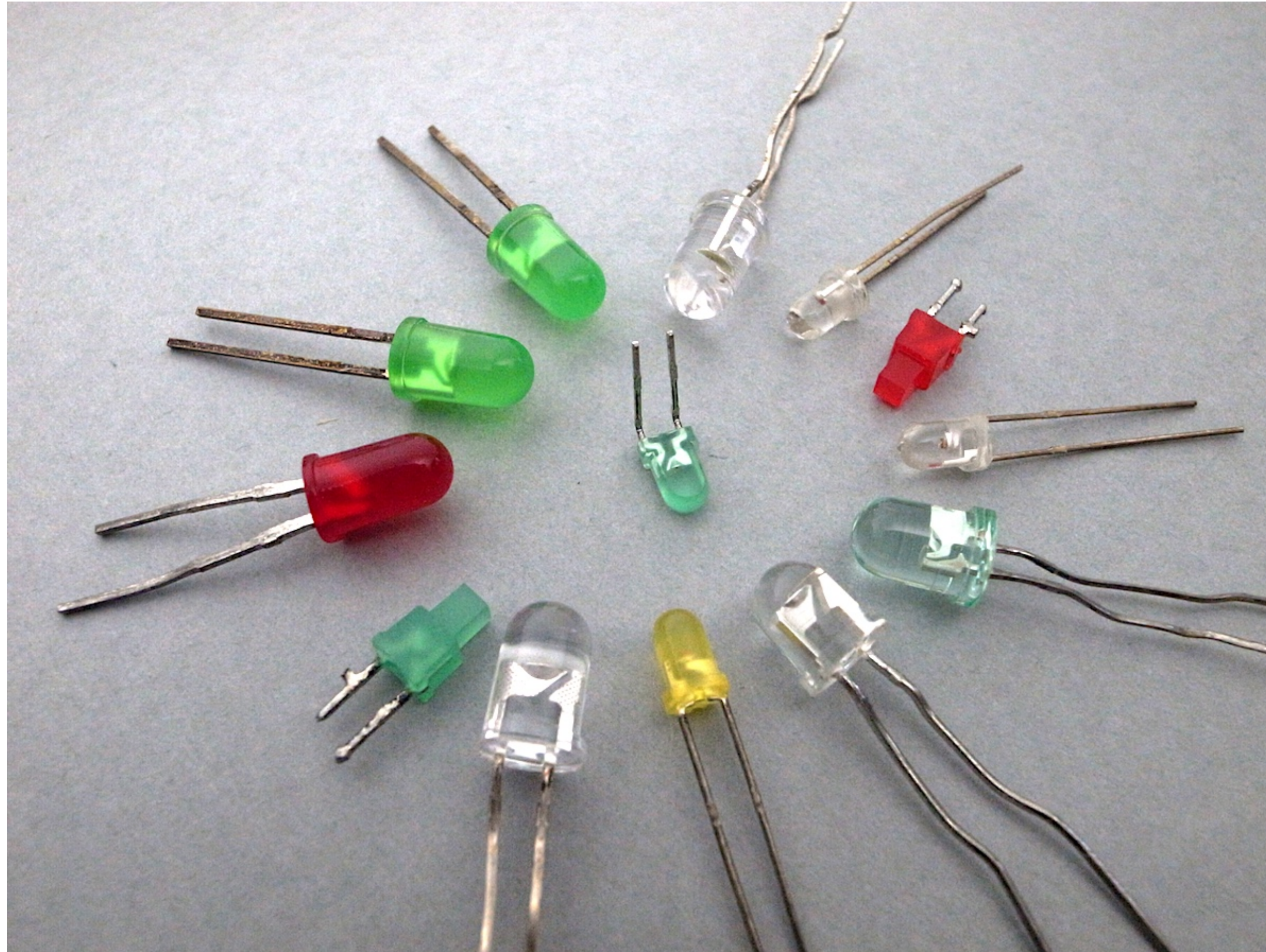
◆発光ダイオード

◆ダイオード

◆順方向

◆赤色LED

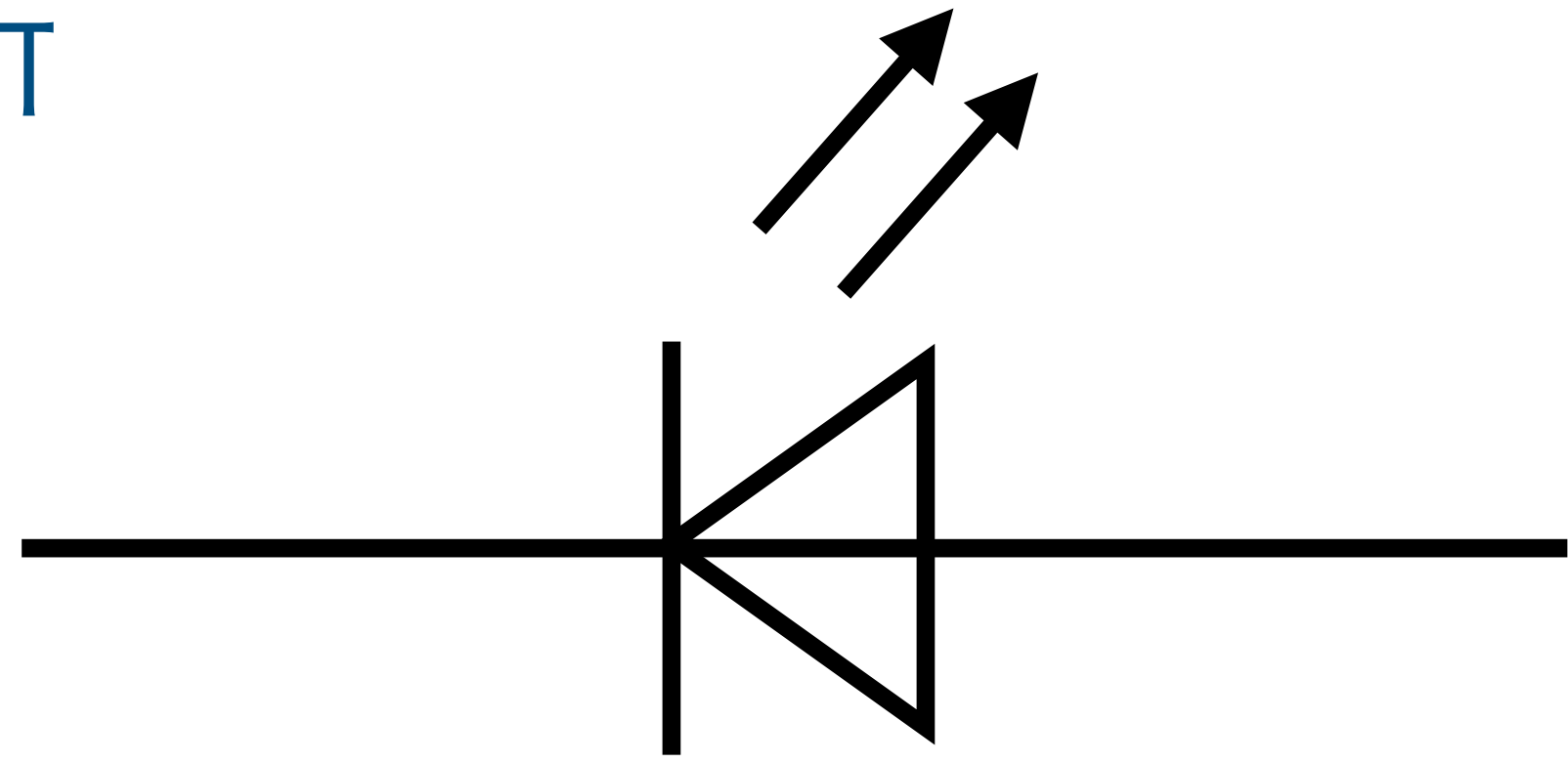
◆青色LED



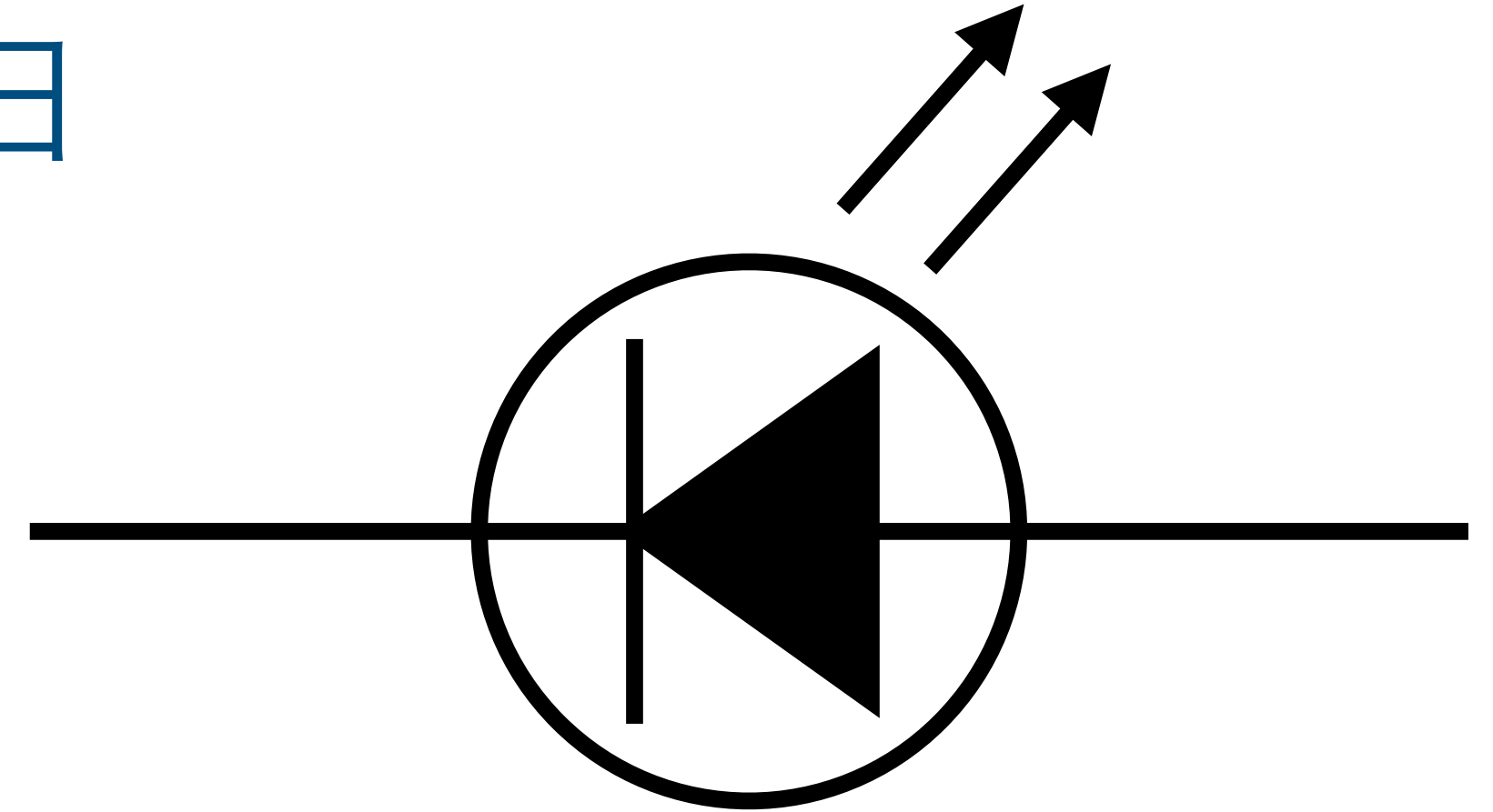
問い：照明用のLEDランプが作られるようになった理由は何か？（複数）

LEDの記号

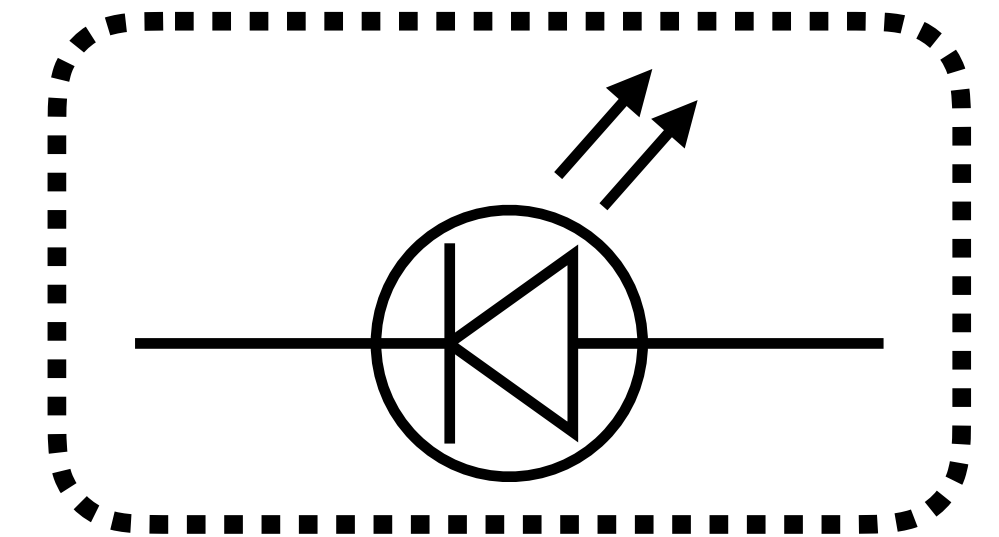
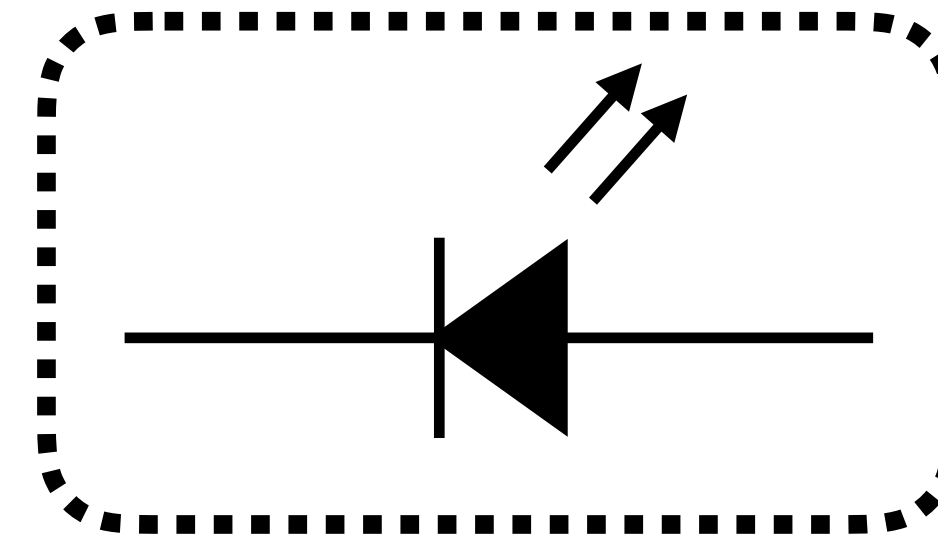
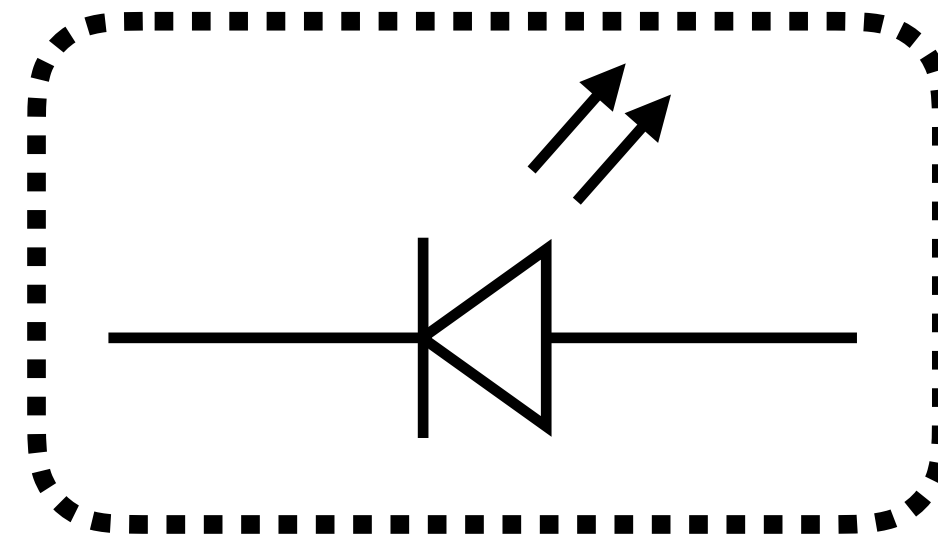
新



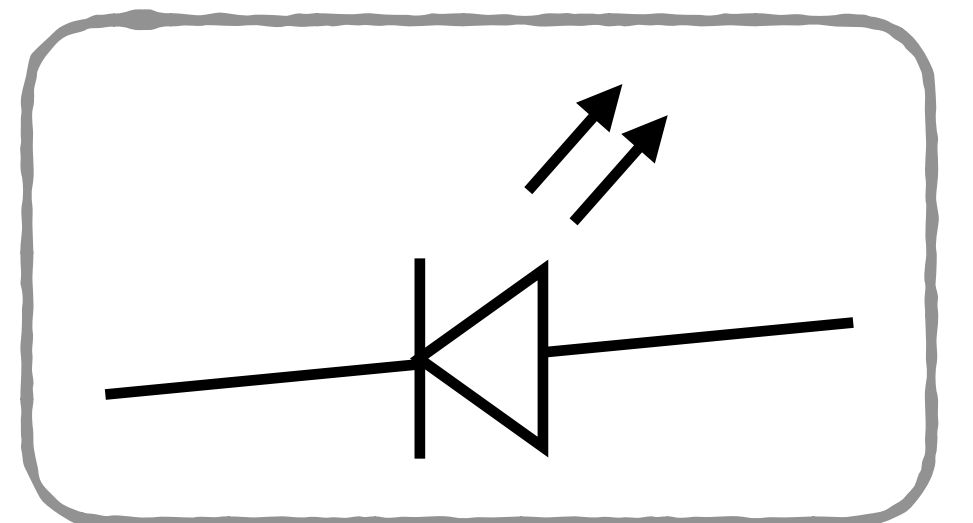
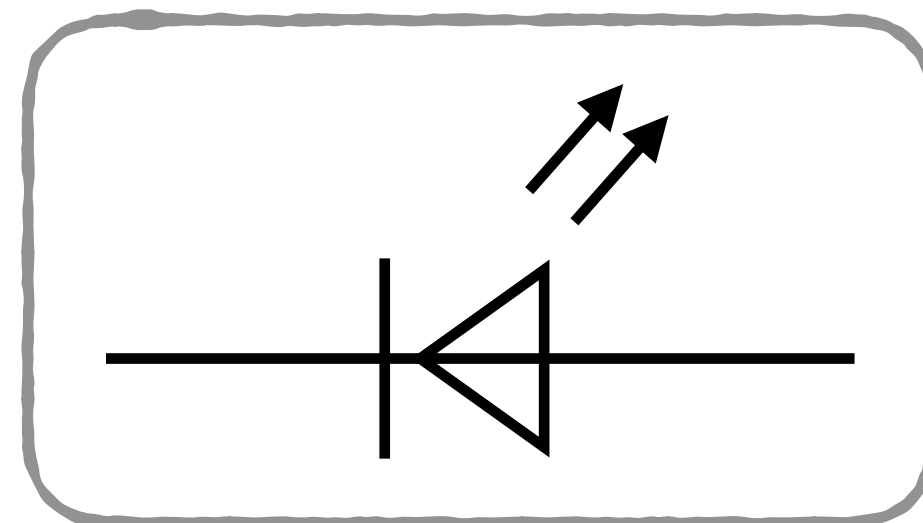
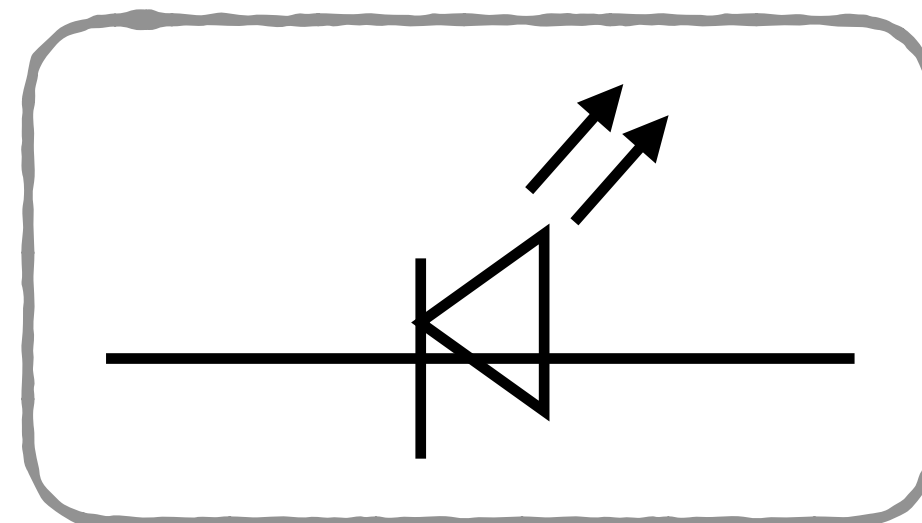
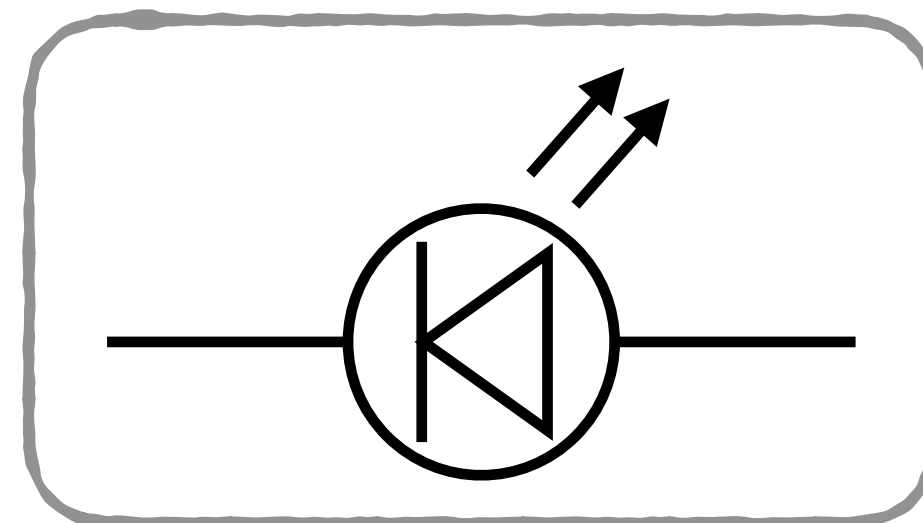
旧



色々な記号を見かけるが..

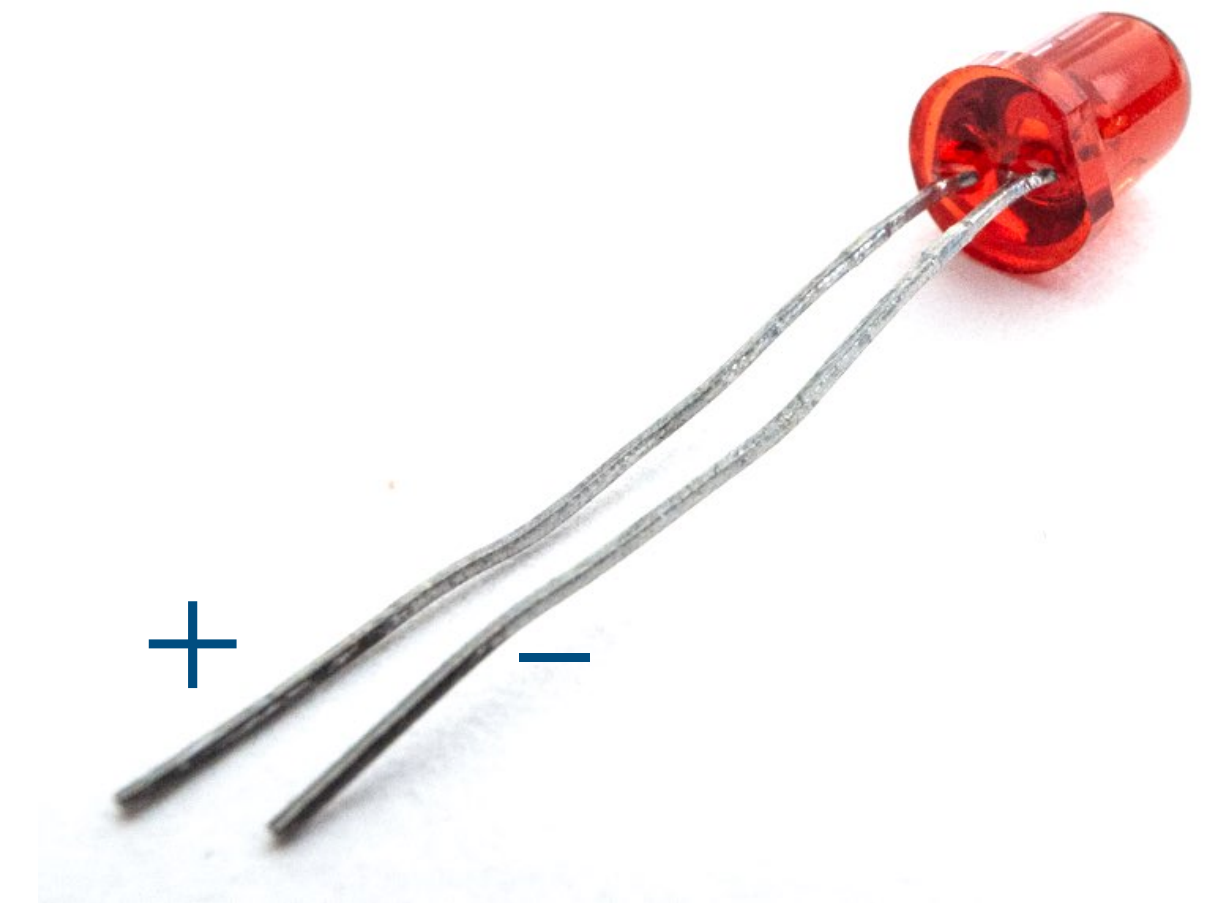
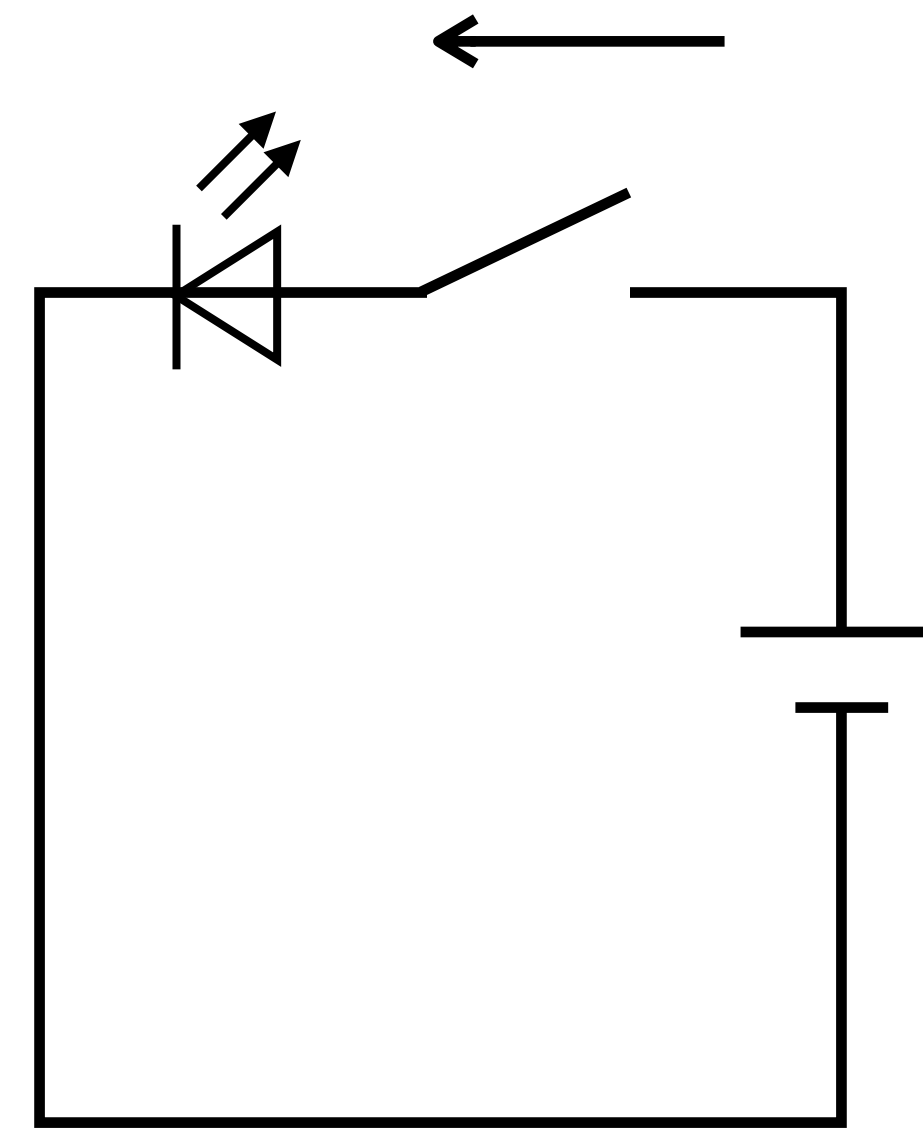
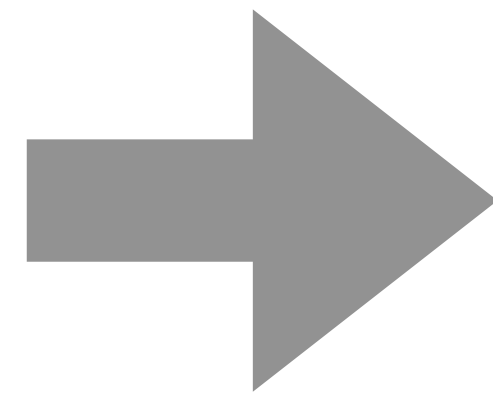
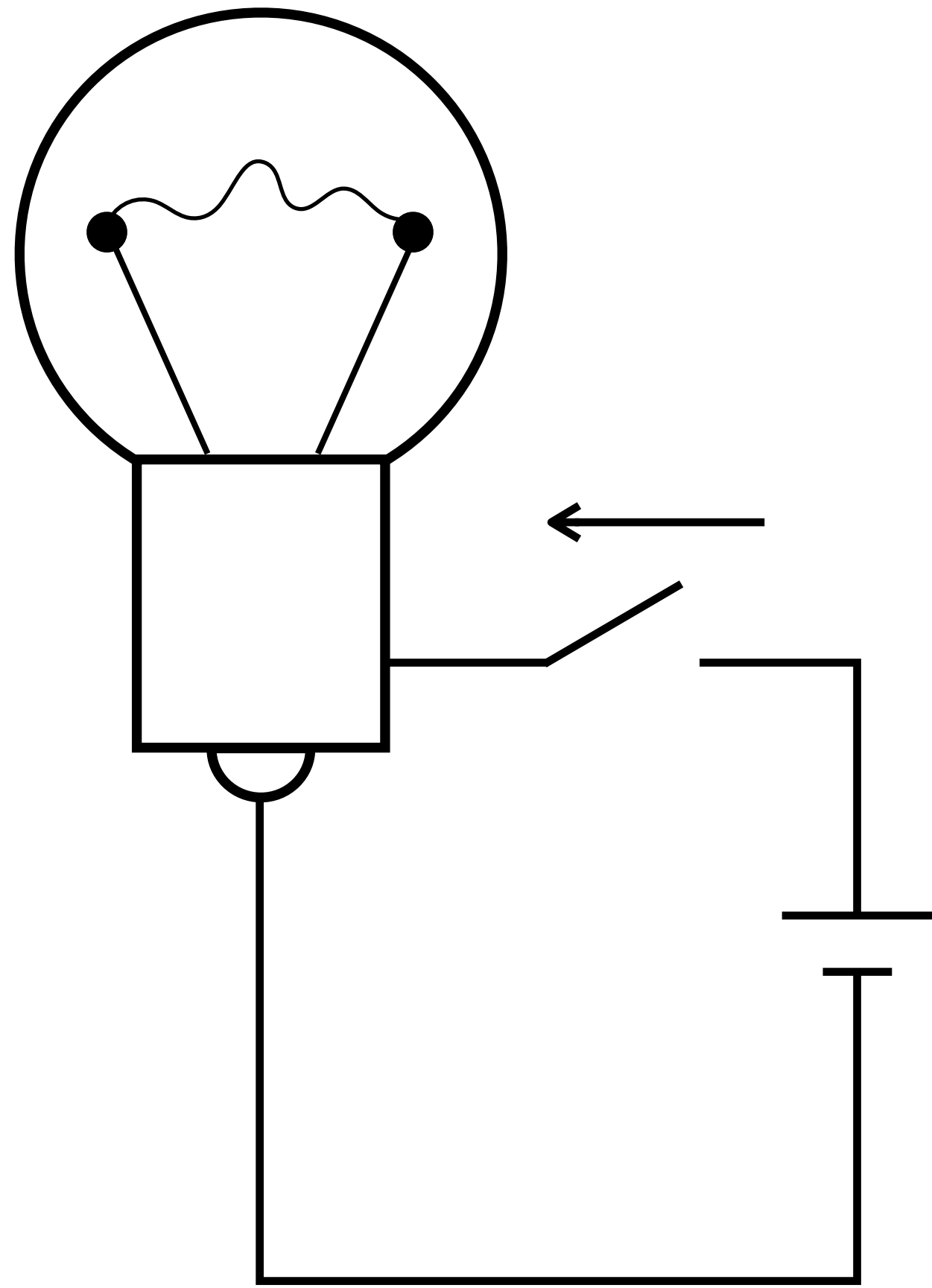


こういう図は
不適切です.



豆電球の代わりにLEDを使うとどうなる？

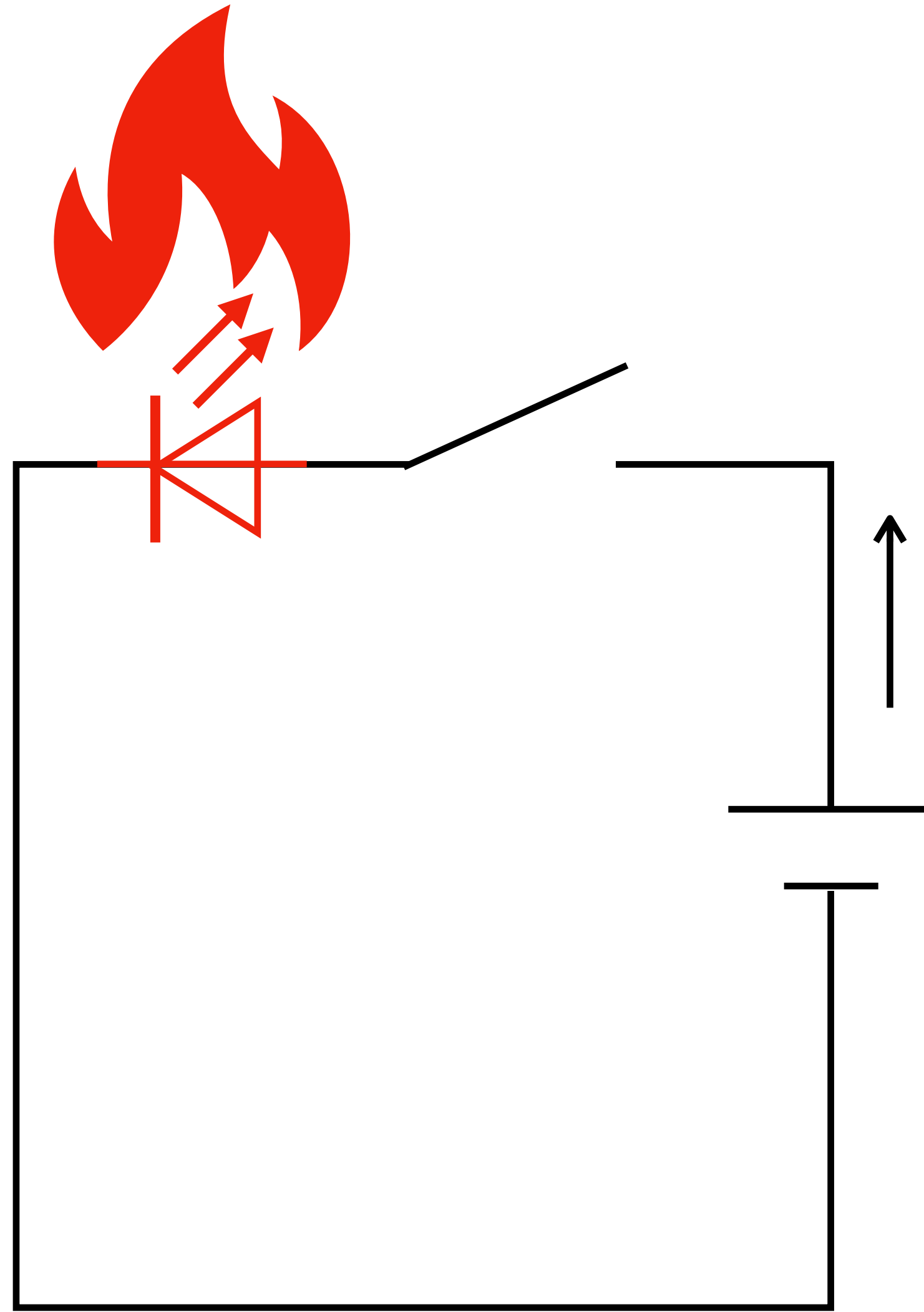
注意：LEDには極性（+，-）がある！



問い：これは正しいか？

正しくないとしたら何がいけないか？

LEDが焦げる（溶ける）！



危険なのでやってはいけません。

「覚えること」と「理解すること」の違い

覚えているだけでは危ない

● LEDの正しい使い方を**覚えていなかった**ため、電流を制限する抵抗をつな
がず、LEDに規定の値を超える電流
を流してしまった。

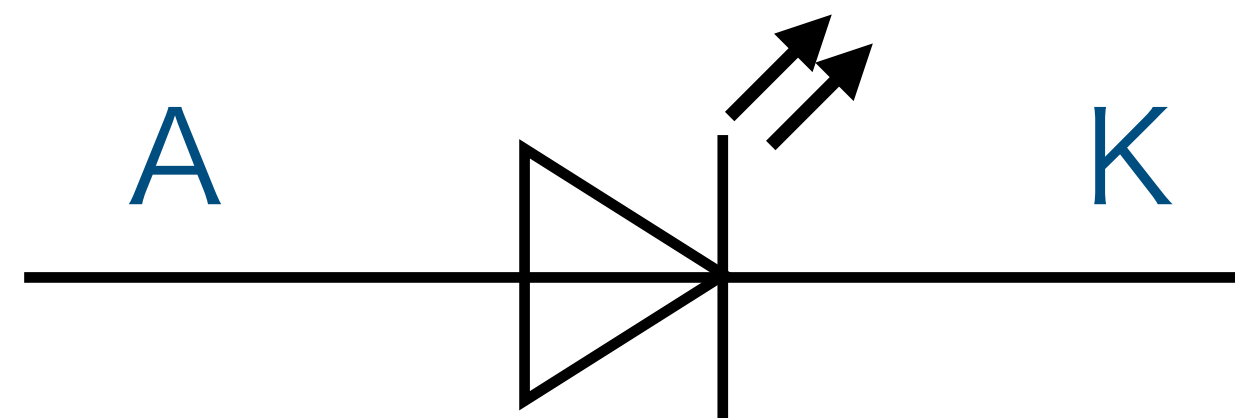
覚えていたとしても、うっかり
忘れることがある。しかも、
そのことに**気がつかない**。

● LEDのしくみ（原理）を**理解してい
なかった**ため、深く考えることなく
豆電球をLEDに置き換えてしまった。

理解して修得していれば、よ
ほどのことがなければ、取り
出して**使うことができる**。

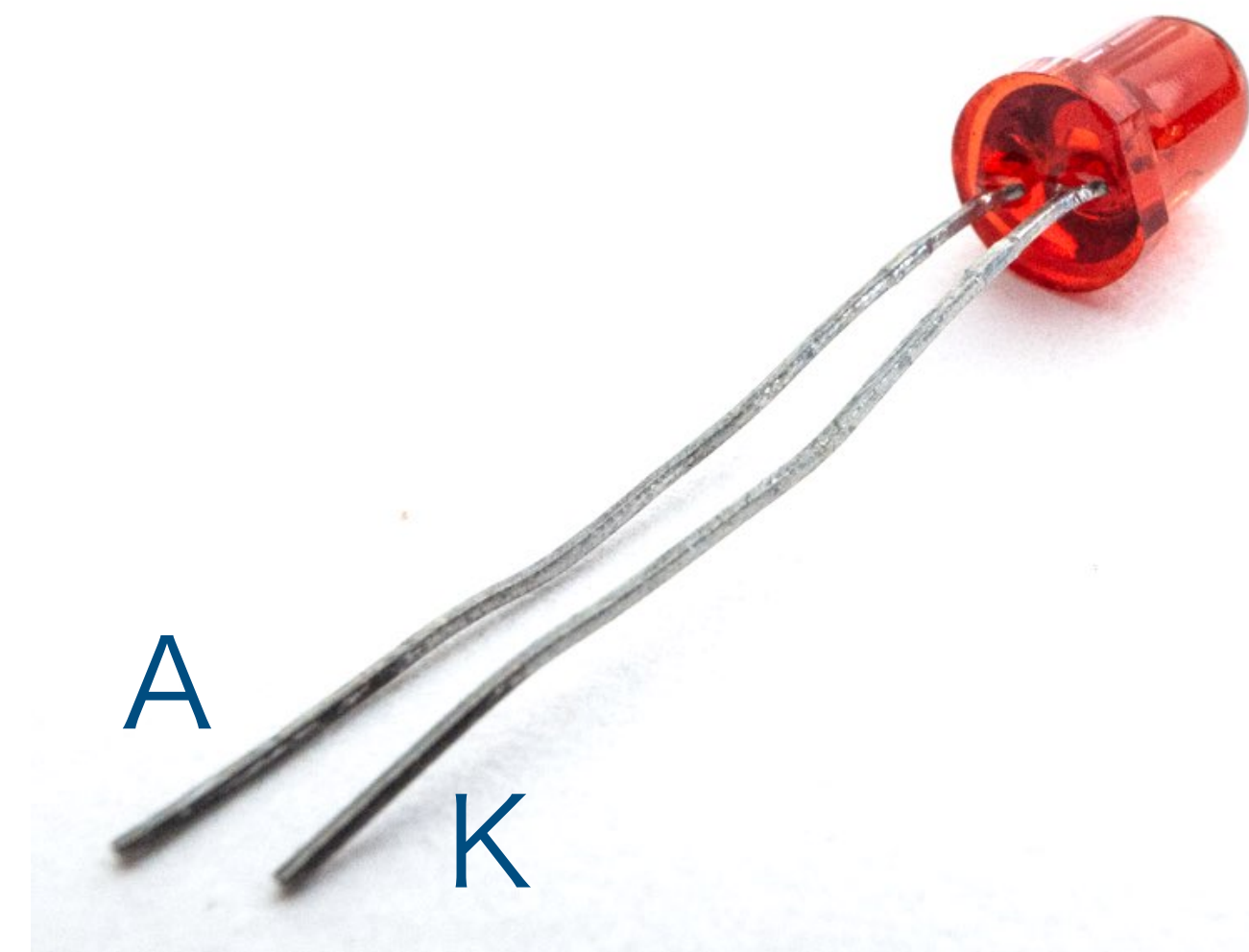
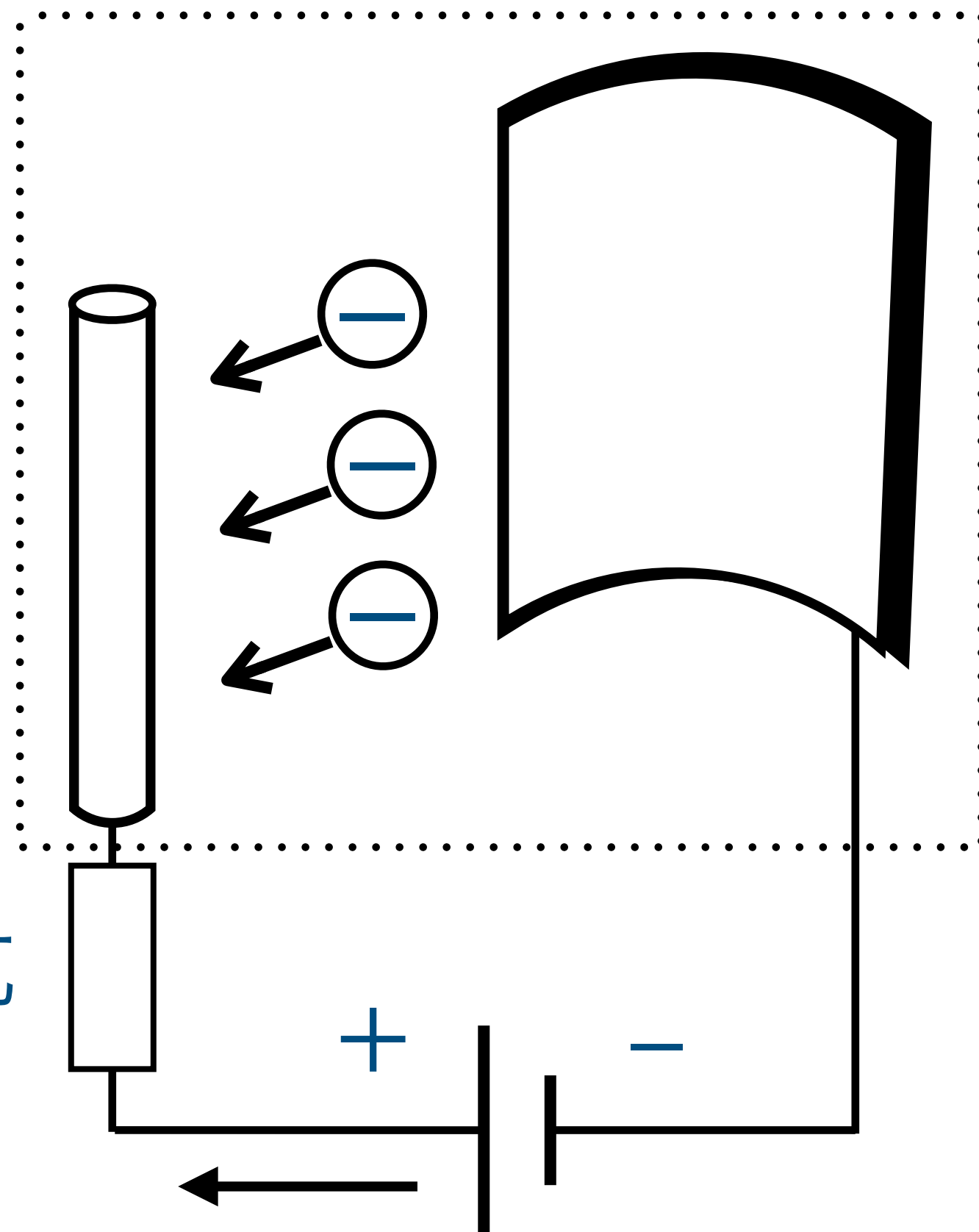
理解していればまず大丈夫

LEDのしくみ



Anode (陽極)

Cathode (陰極)



OptoSupply社製
5mm Super Red LED
OSDR5113A

問い：LEDのしくみを自分で書いて説明してみよう

LEDに流して良い電流値

絶対最大定格 (Absolute Maximum Ratings)

項目	定格値
順方向最大電流, I_F	30 mA
逆方向耐電圧, V_R	5 V
発熱量, P_D	72 mW
使用温度範囲	-30~+82 °C
保管温度範囲	-40~+100 °C

5mm径の赤色LEDの一例

問い：LEDは何故省エネと言われているのか

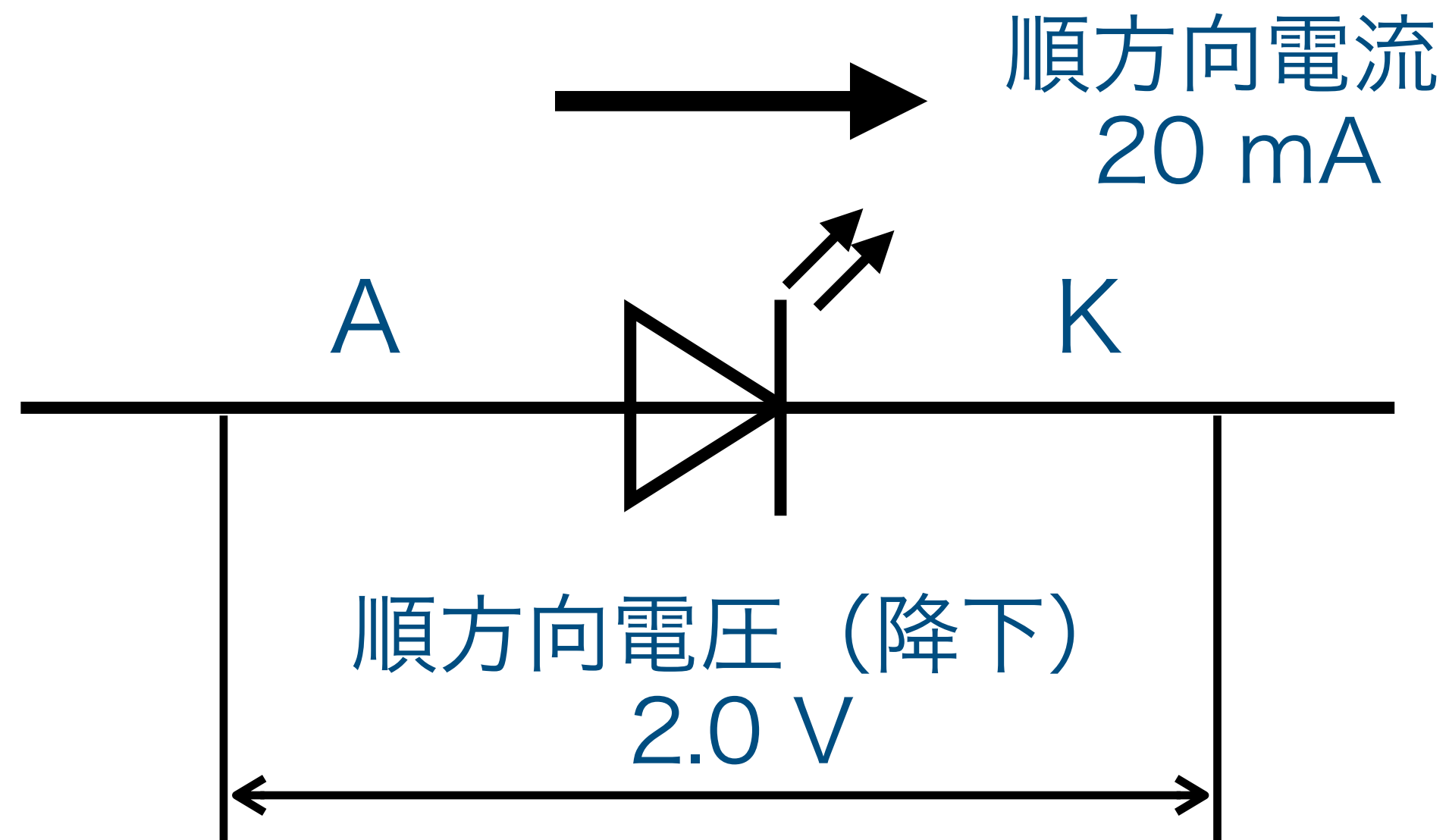
LEDを光らせた時の順方向電圧（降下）

電気的特性（Electro-Optical Characteristics）

項目	最小値	基準値	最大値	条件
順方向電圧, V_F (電圧降下)	1.8 V	2.0 V	2.5 V	$I_F=20 \text{ mA}$
逆方向電流, I_R	72 mW		10 μA	$V_R=5 \text{ V}$

5mm径の赤色LEDの一例

LEDにオームの法則を適用すると？



LEDの抵抗 R は,

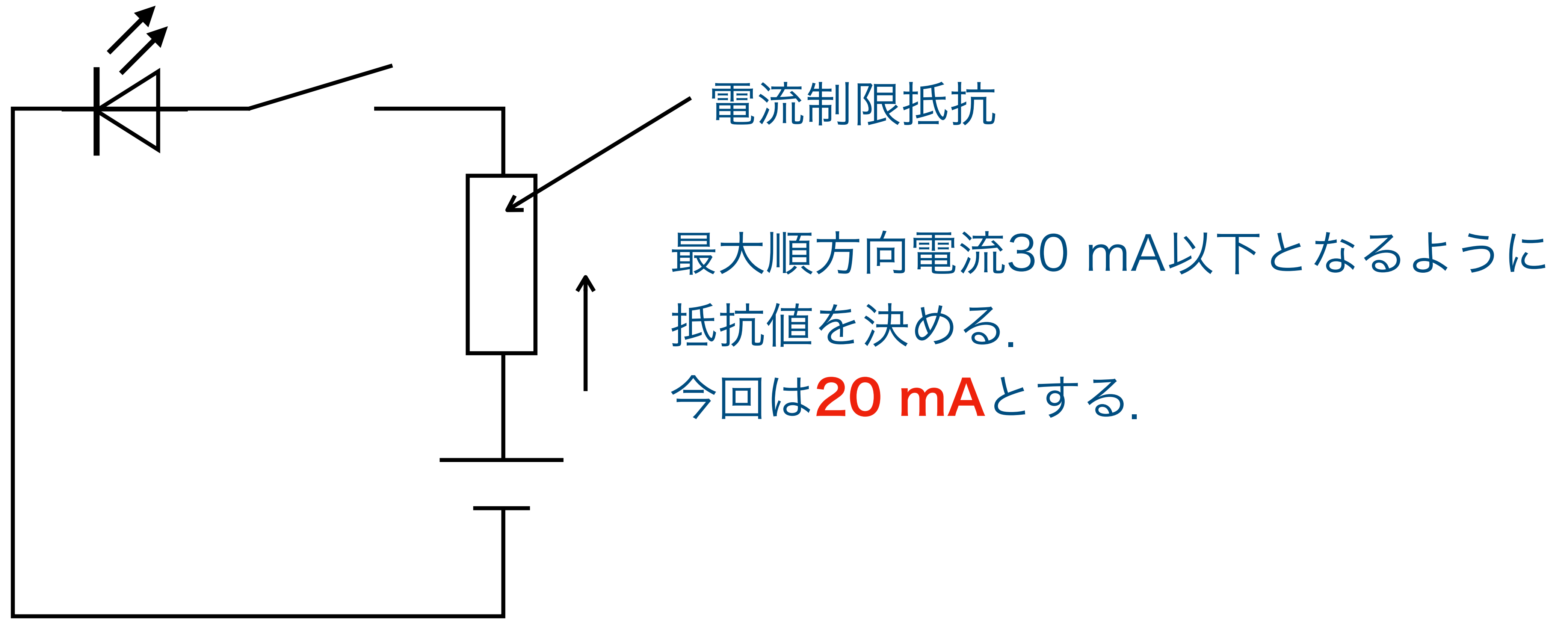
$$R = \frac{2.0}{0.02} = 100 \Omega$$

問い：これは正しいか？

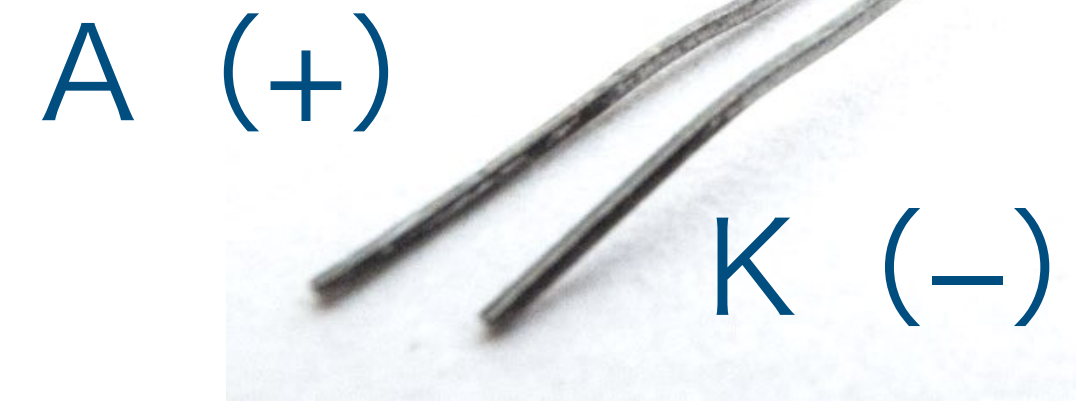
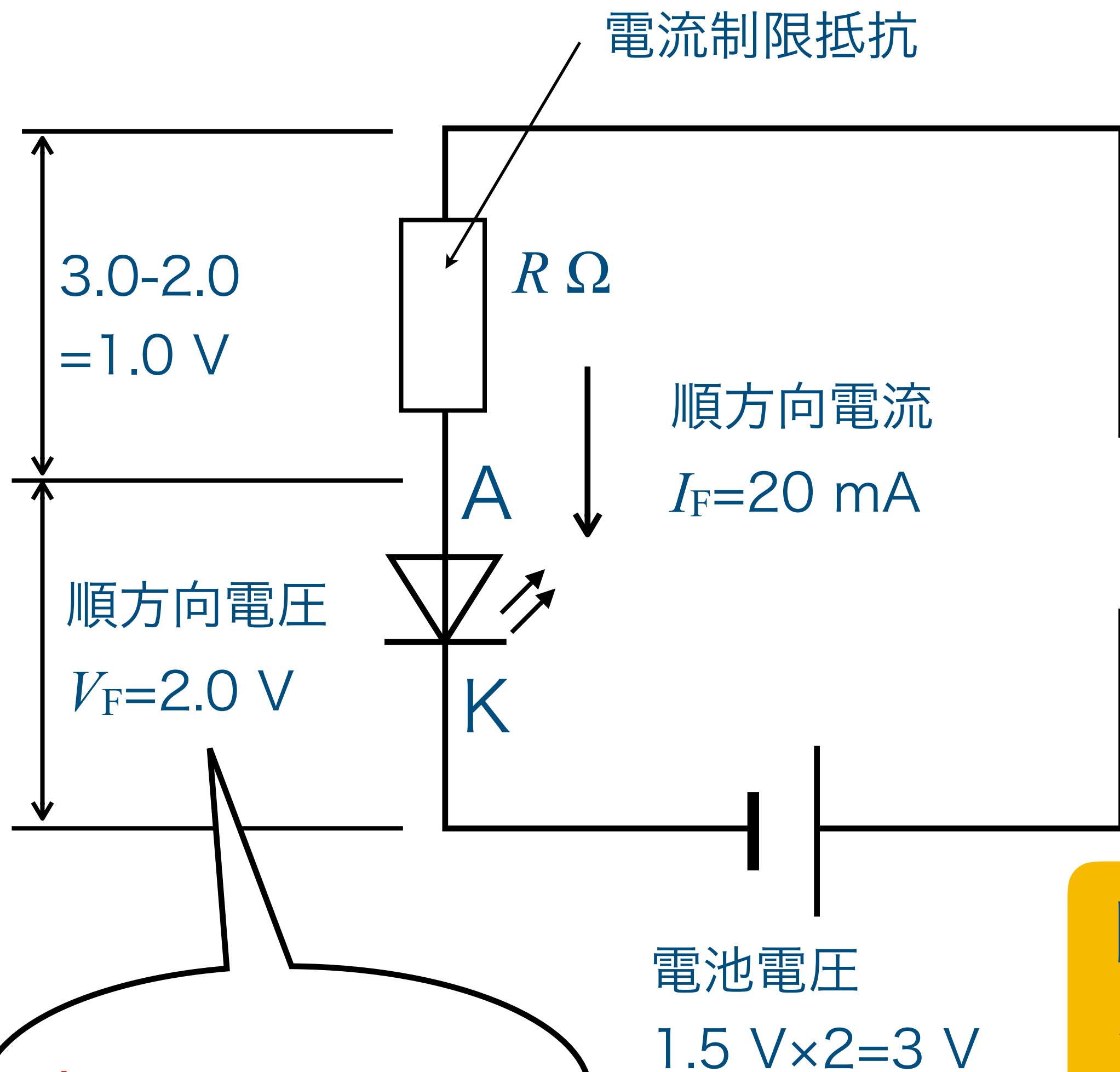
LEDの正しい使い方

目的：LEDに規定の値の順方向電流が流れるようにして使う。

手段（一つの）：電流制限抵抗を直列に繋いで使う。



電流制限抵抗の抵抗値の決め方



$$R = \frac{3.0 - 2.0}{0.02} = 50 \Omega$$

50 Ω という抵抗器は無いから 51 Ω を使う。
(47 Ω ではなく)

今回は 2.0 V とする

問い：ブレッドボードでこの回路を組んで、タクトスイッチを押すとLEDが点滅することを確認してみよう。

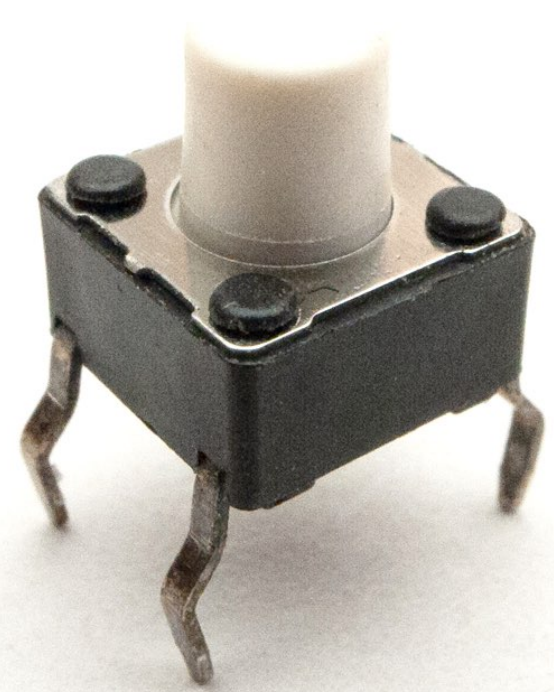
いろいろなスイッチ

- スイッチには高価なものがある。
- 接点容量 (V, A) を把握して使う。
- 今回の回路では、どれだけの電流が流れそうか？

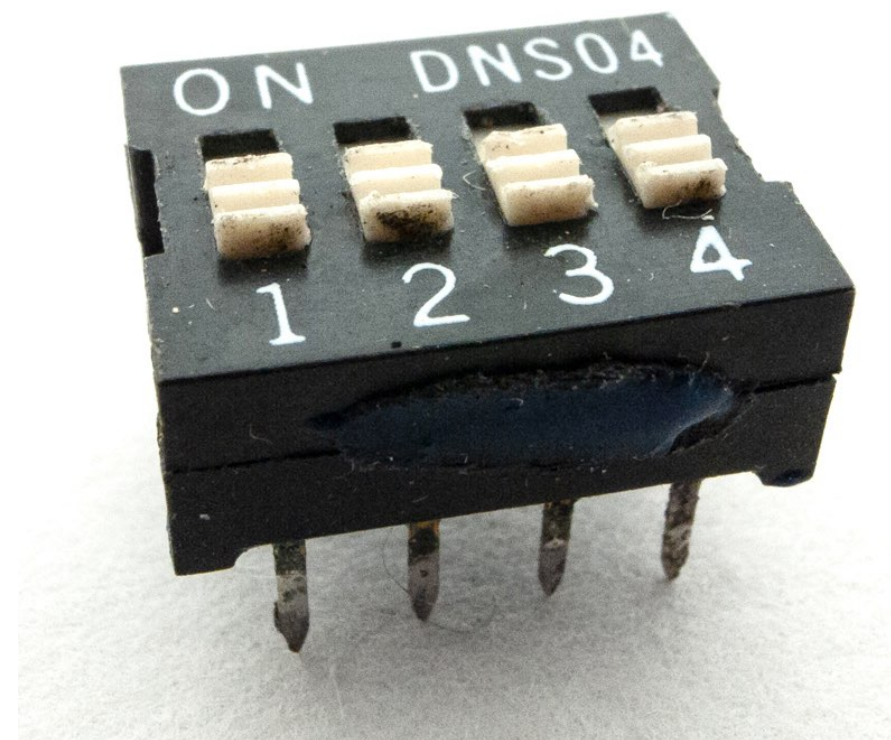
ブレッドボードで使用する際は、指で本体を押さえて操作する。



タクトスイッチ 12 V, 50 mA



トグルスイッチ
120 V, 3 A



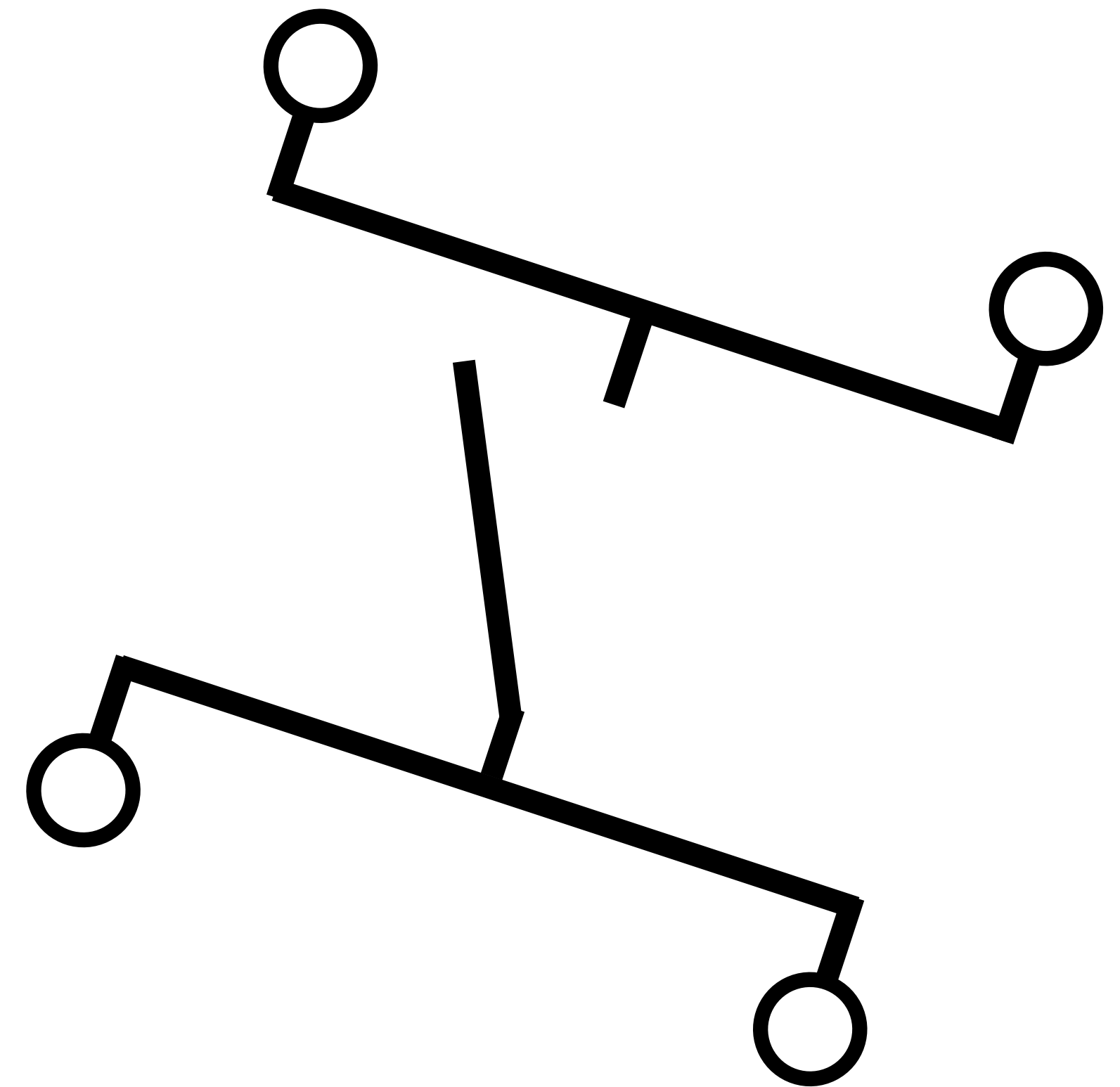
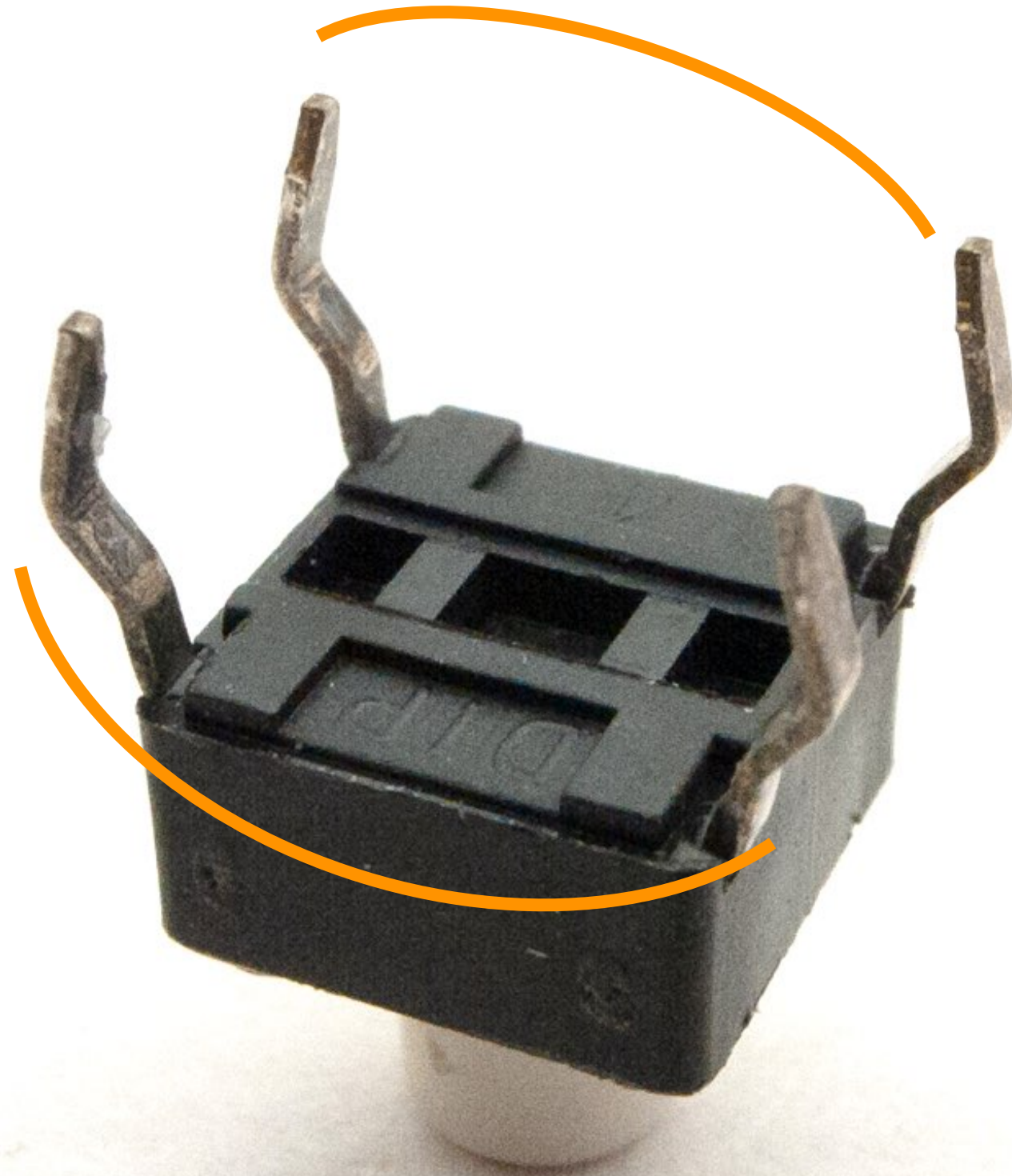
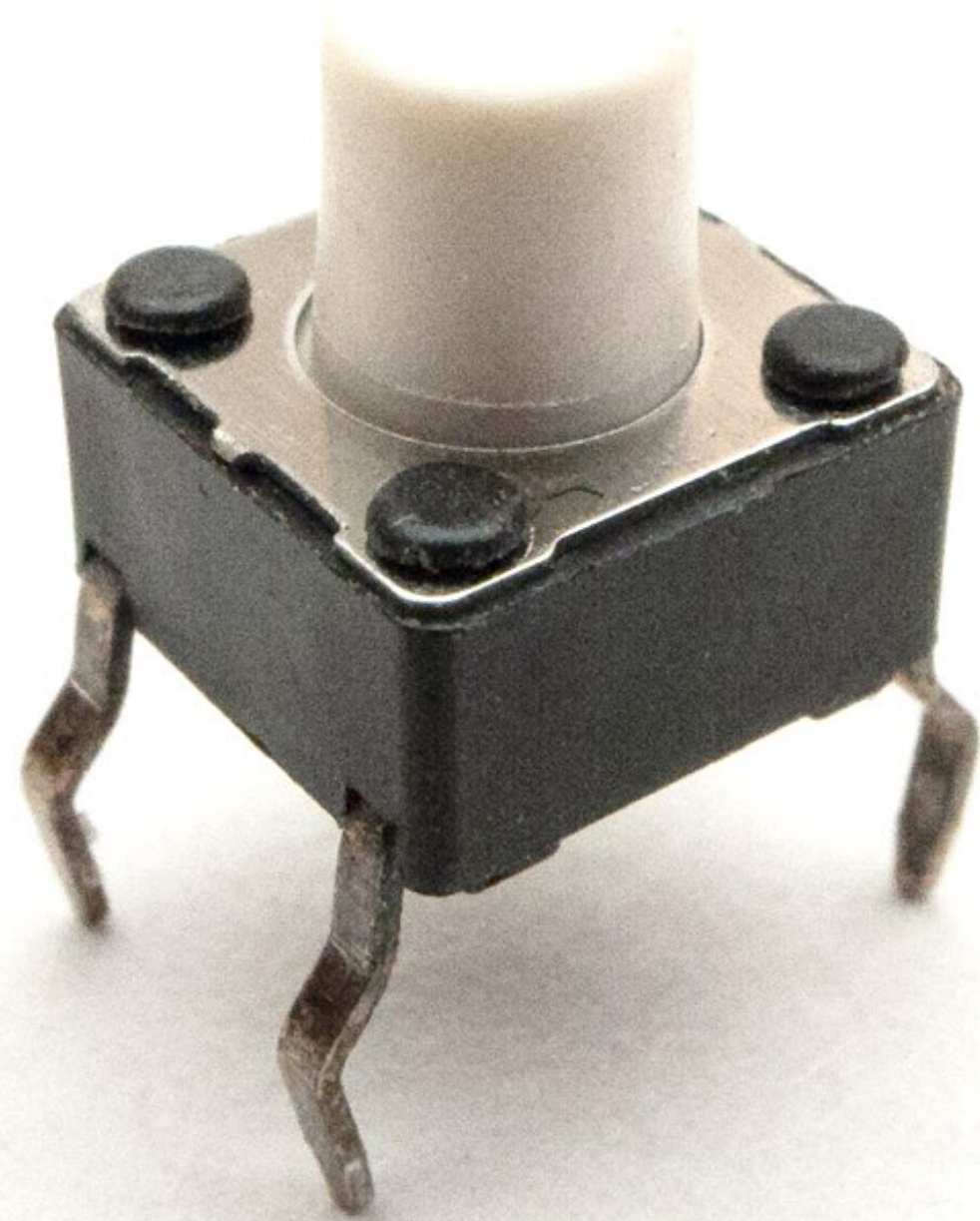
DIPスイッチ 24 V, 25 mA



問い：スイッチを選ぶときはどこをみるか？

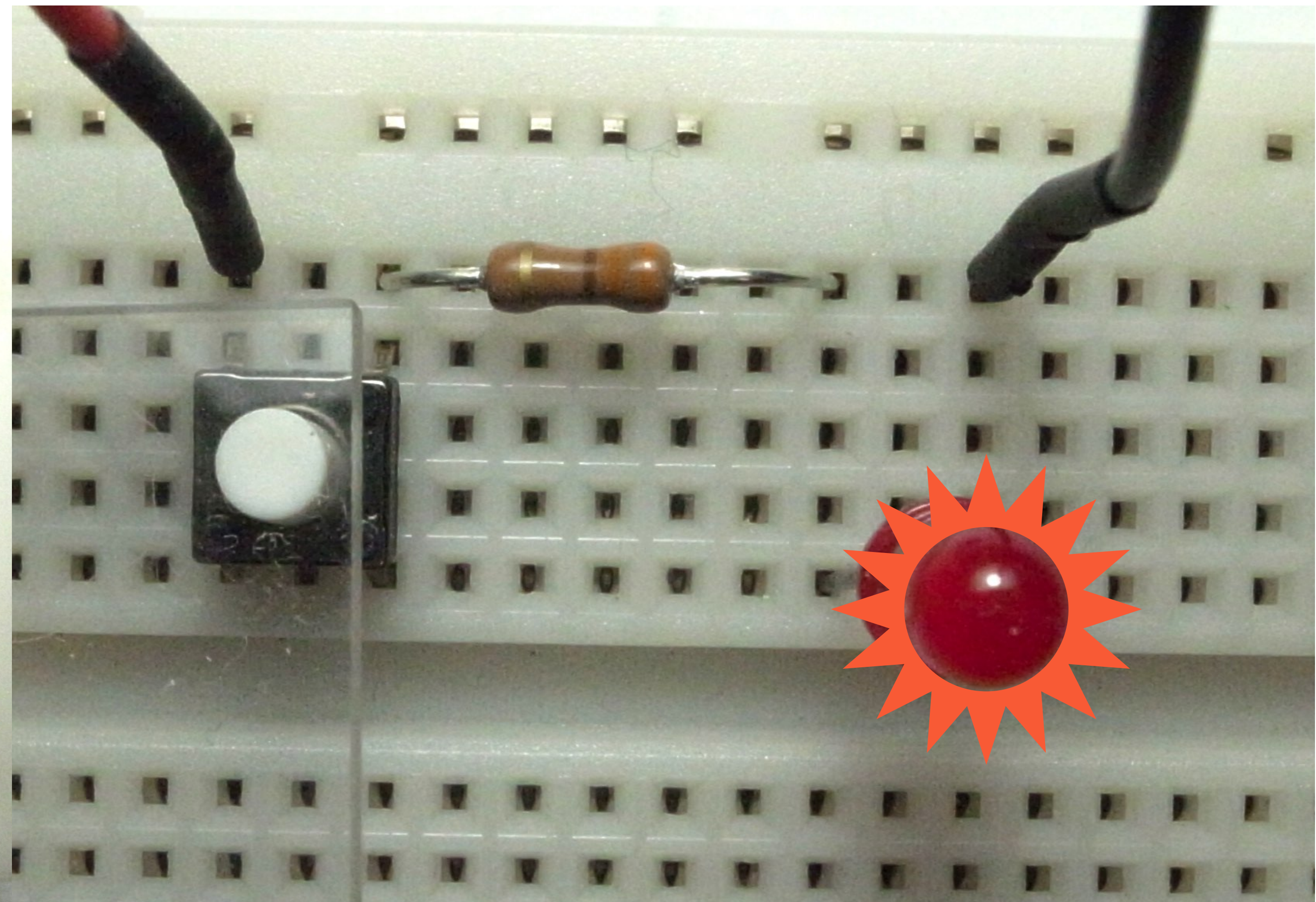
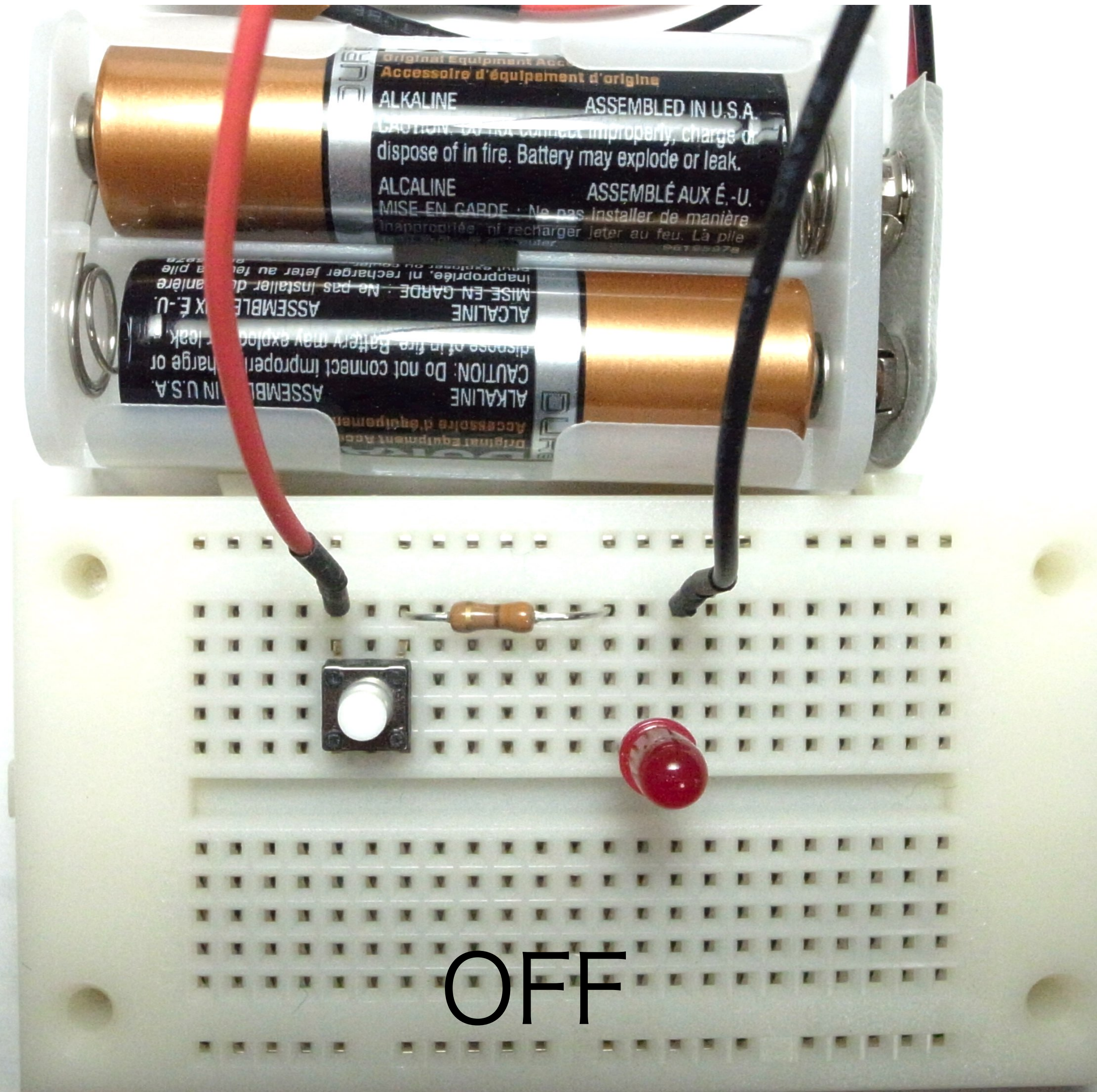
タクトスイッチの使い方

このピンが導通している

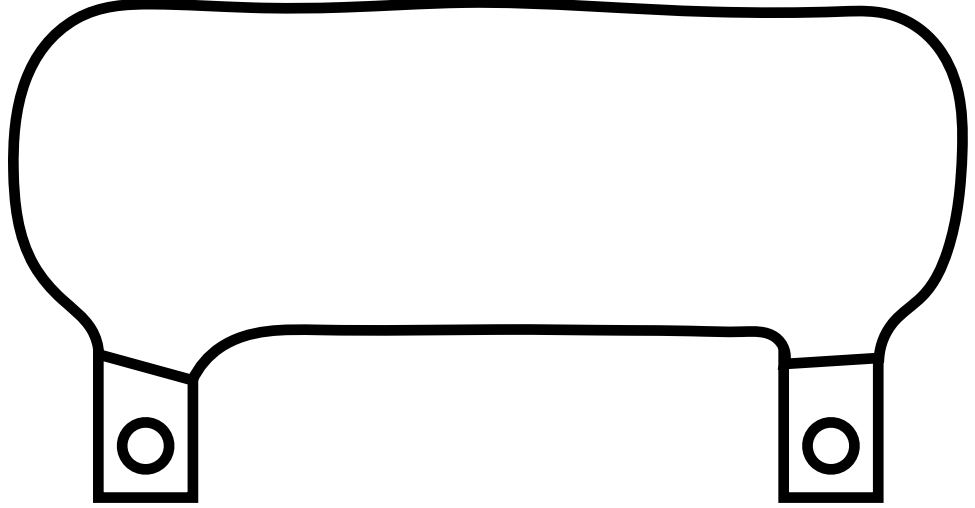
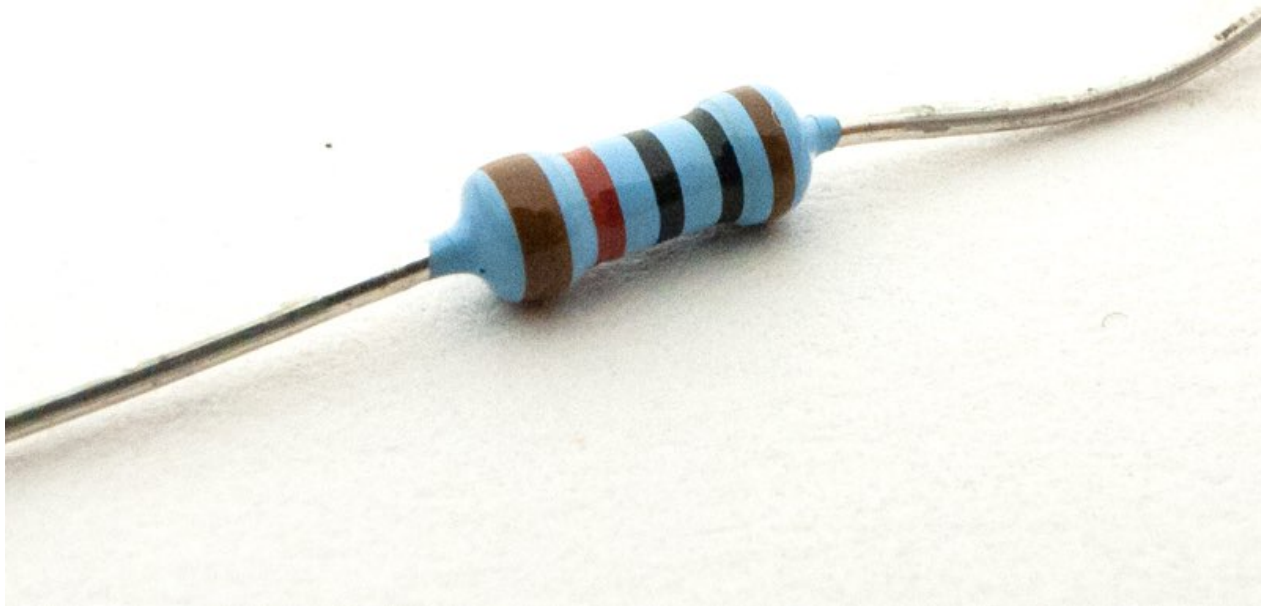


この回路を理解して使う

正しい回路でLEDをON/OFFさせる



抵抗器の種類

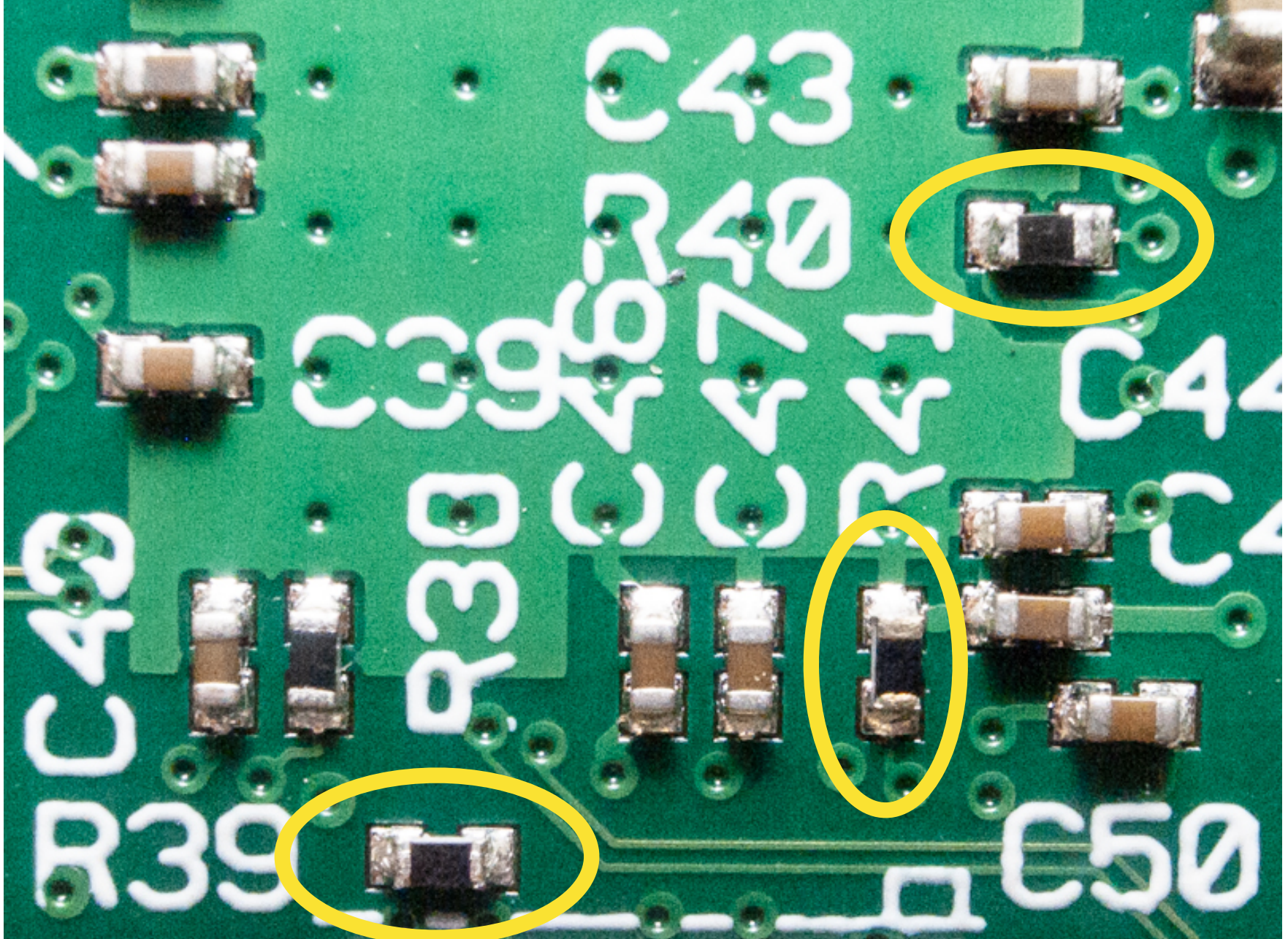


ホウロウ抵抗器

カーボン抵抗器
(炭素皮膜抵抗)

金属皮膜抵抗器

- ・容量 1/8 W, 1/4 W, 1/2 W, 1 Wなど
- ・精度 5 %, 10 %, 20 %, 1 %, 2 %

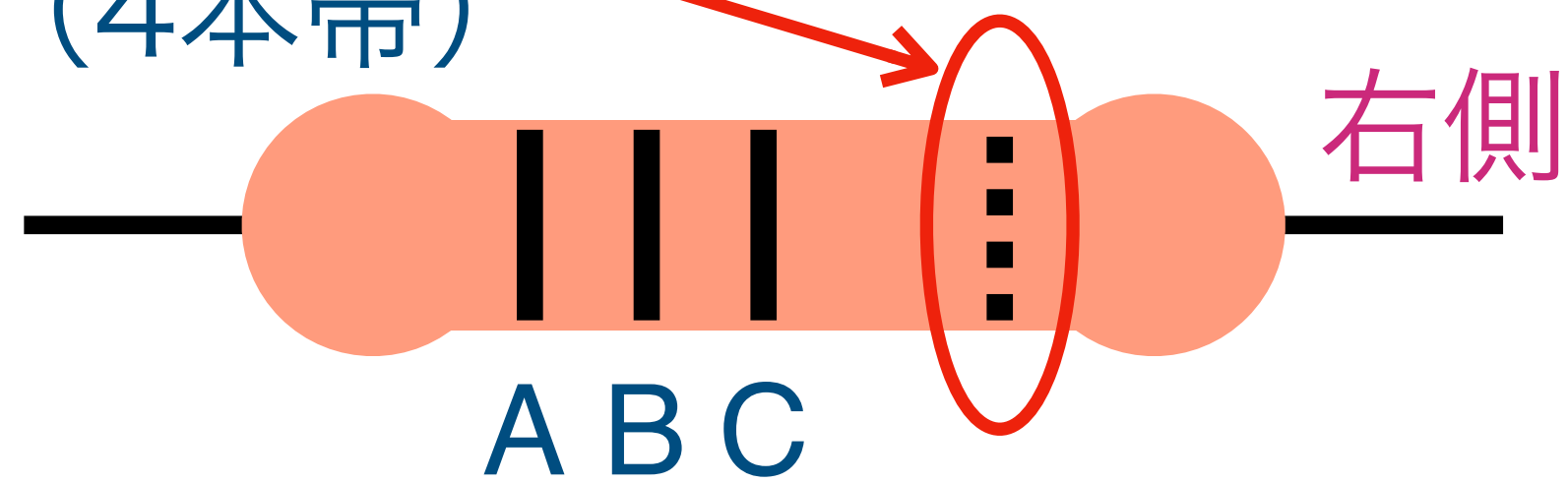


チップ抵抗器

抵抗器のカラーコードの読み方

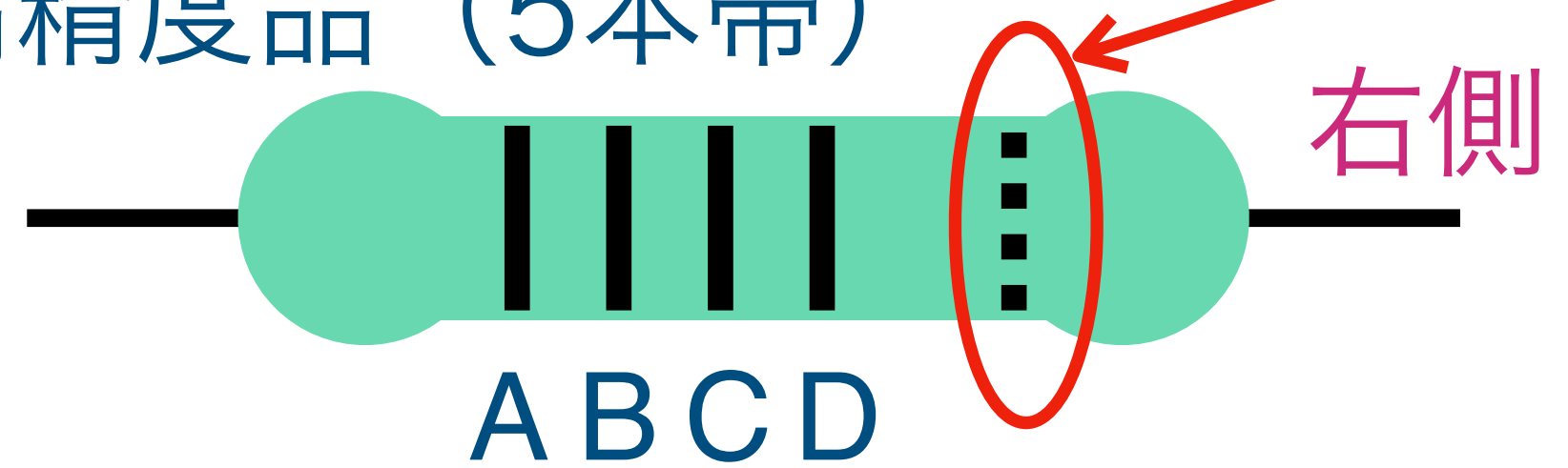
精度を表す帯（1本だけ離れている，金，銀など）が右側にくるように置く

普通品（4本帯）



$$\boxed{A} \boxed{B} \times 10^{\boxed{C}} \Omega$$

高精度品（5本帯）



$$\boxed{A} \boxed{B} \boxed{C} \times 10^{\boxed{D}} \Omega$$

	黒	茶	赤	橙	黄	緑	青	紫	灰	白	金	銀	無
— 帯 抵抗値	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	-1	-2	/
⋯⋯ 帯 精度(%)		±1	±2								±5	±10	±20

抵抗器の抵抗値の種類

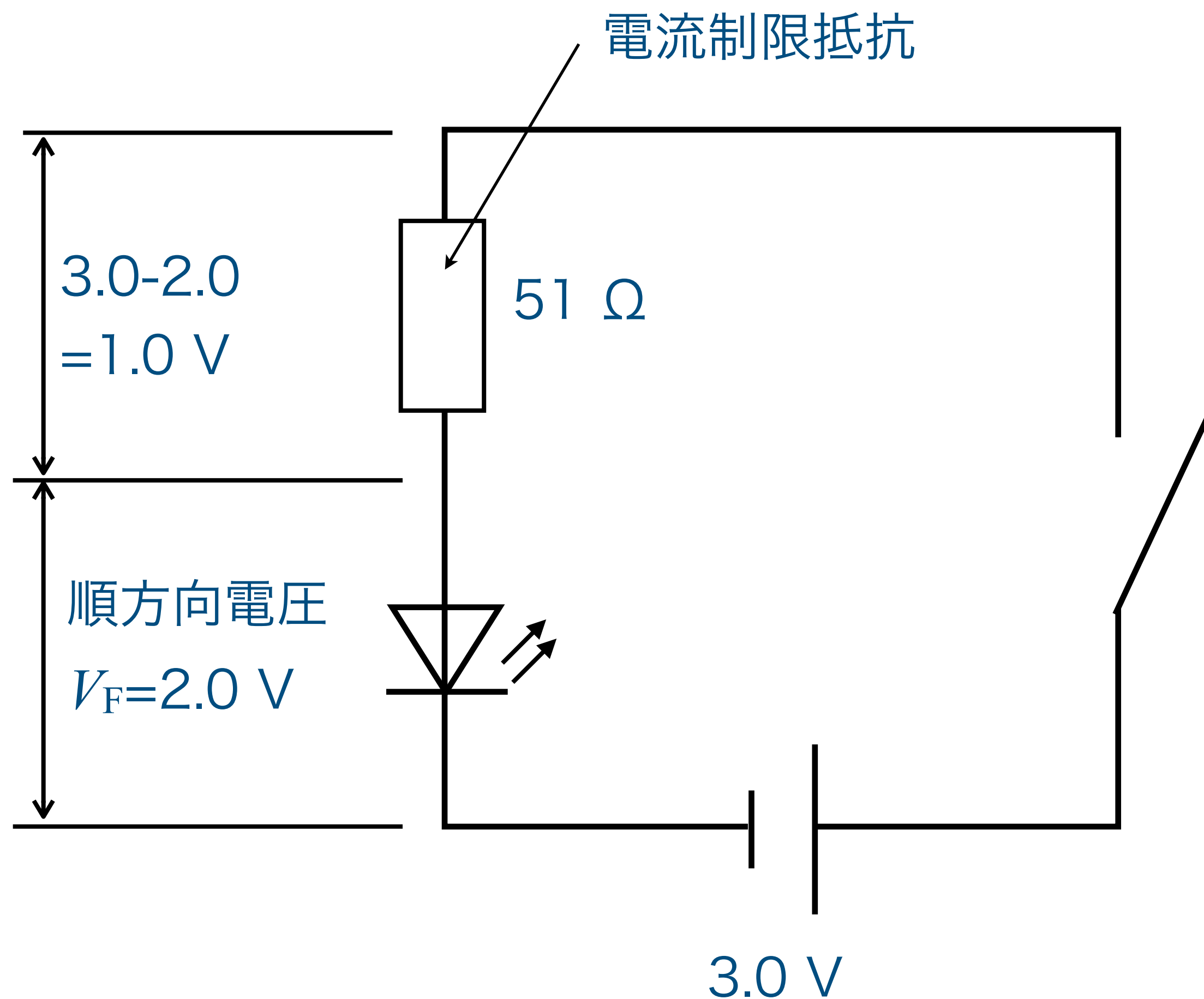
E12	10		12		15		18		22		27		33		39		47		56		68		82	
E24	10	11	12	13	15	16	18	20	22	24	27	30	33	36	39	43	47	51	56	62	68	75	82	91
E96	省略																							

この数値を $\times 0.1$, $\times 1$, $\times 10$, $\times 100$ Ω などとした値の抵抗器が流通している。
例：56 Ω , 100 Ω , 330 Ω , 56 k Ω , 1 M Ω

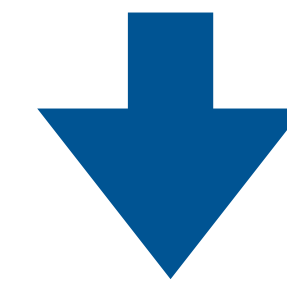
問い：この数列はどのような数列か？

抵抗器を焦がさないために

抵抗での消費電力を計算する。



$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{1.0^2}{51} \approx 20 \text{ mW}$$



1/8 W (125 mW) 型の抵抗で十分。

念のためのチェック

LEDの明るさを減らす（減光）には

- ◆ 先ほどが順方向電流が20 mAとしたが、これを**3.6 mA**としてみる。
- ◆ 先ほどと同様に電流制限抵抗の値を計算する。ただし、順方向電圧を最小値の1.8 Vにする。

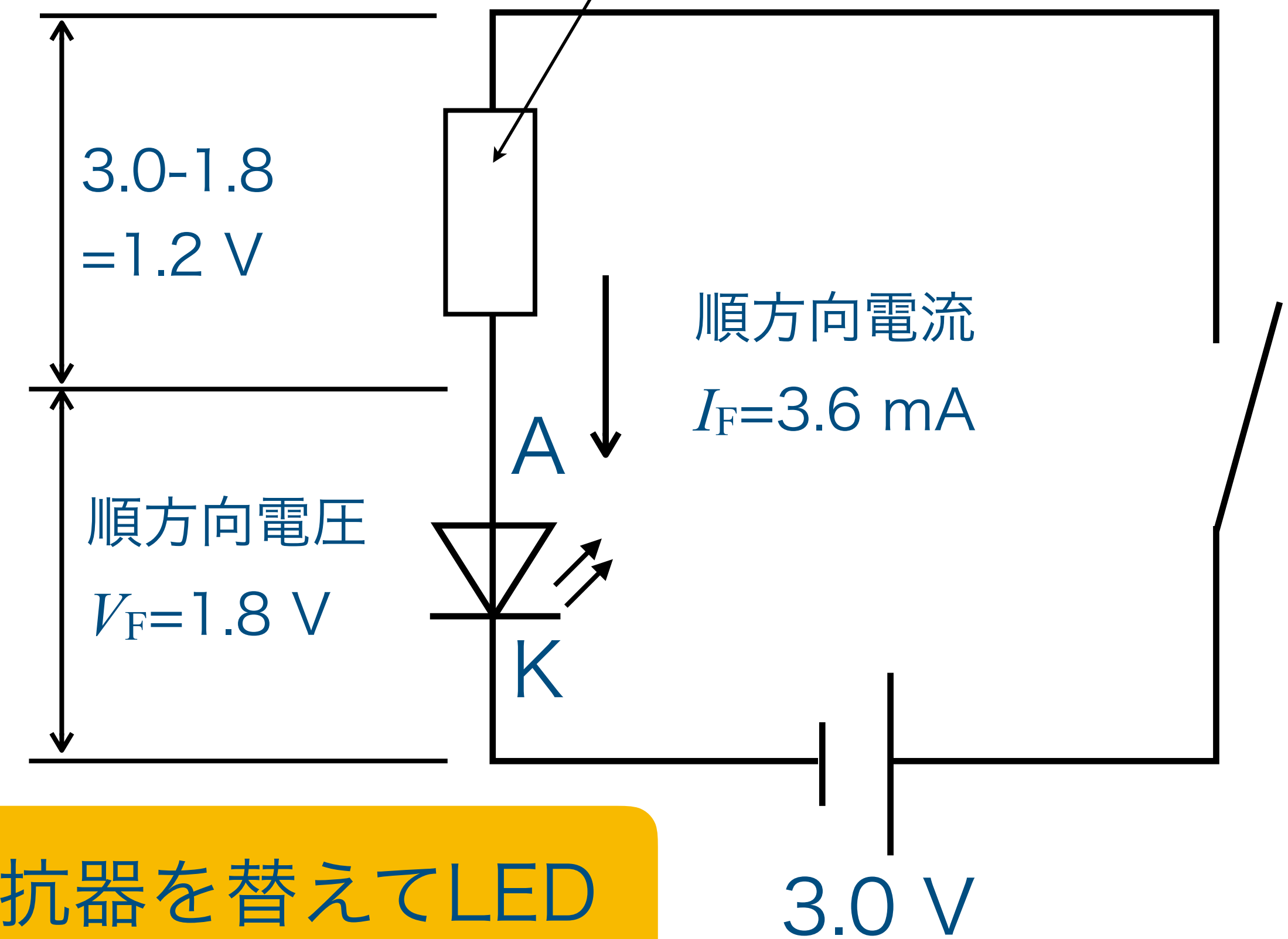
$$R = \frac{3.0 - 1.8}{0.0036} = 333 \Omega$$

333 Ω という抵抗器は無いから330 Ω を使う。

問い：先ほどのブレッドボードの回路で、抵抗器を替えてLEDの明るさを確認してみよう。

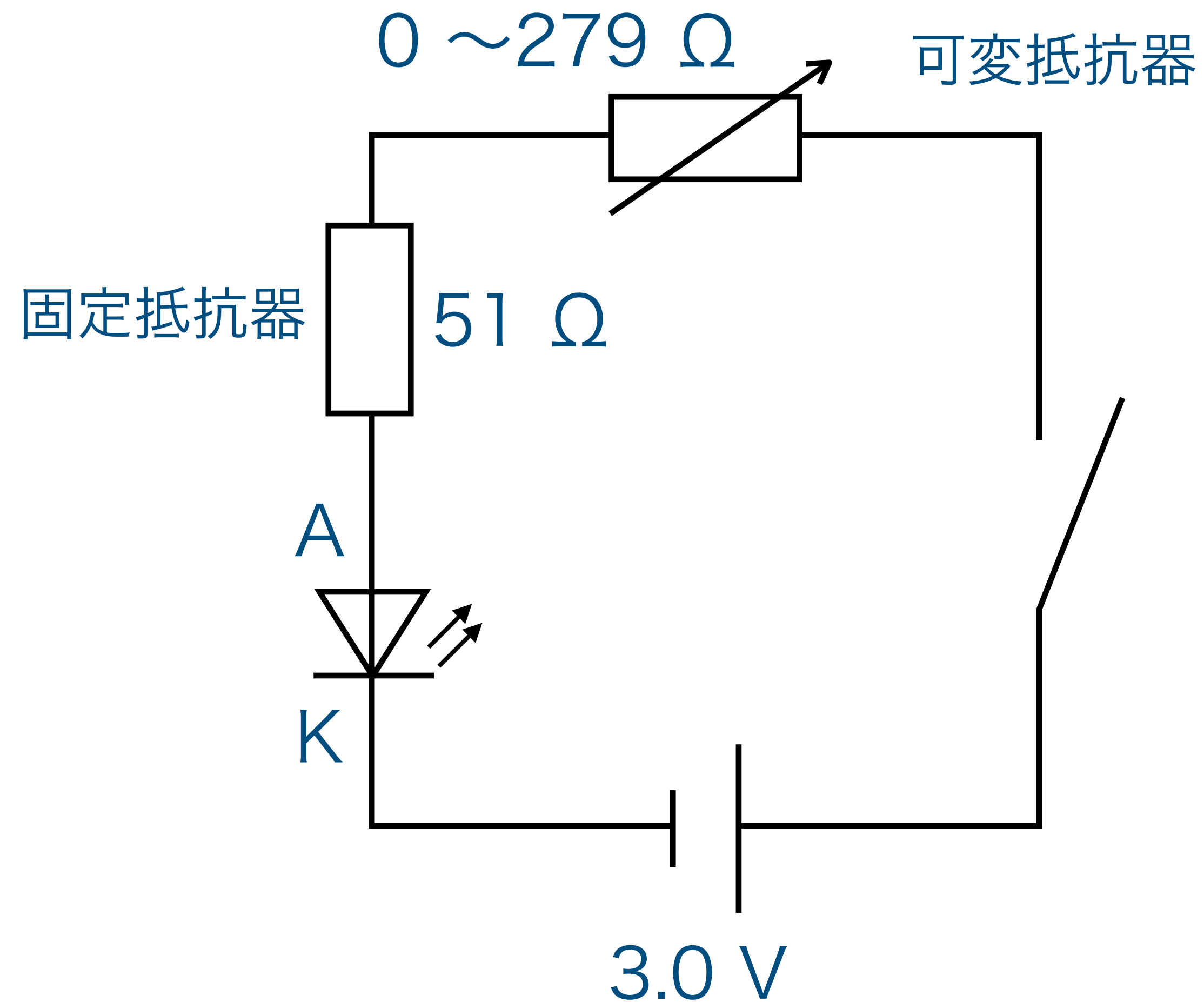


電流制限抵抗



LEDの明るさを連続的に変えるには

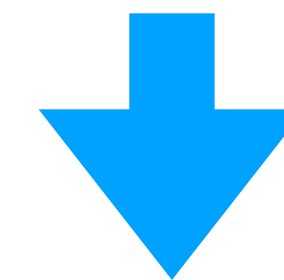
合成抵抗値が51~330 Ω



可変抵抗器または半固定抵抗器
(ボリュームとも呼ばれる)

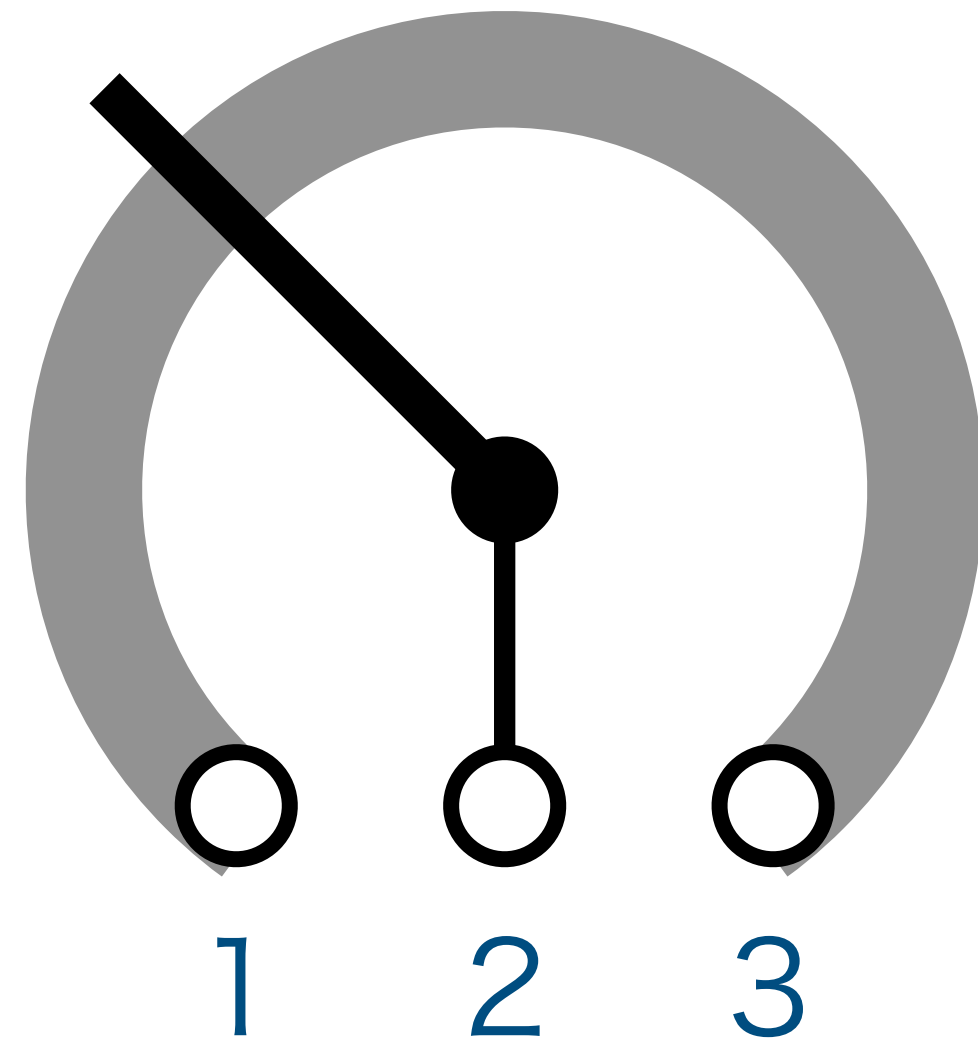
最小値は0 Ω

最大値がケースに表示されている。
しかし、279 Ω というのはない。



100 Ω , 500 Ω などの可変抵抗器
または半固定抵抗器を使う。

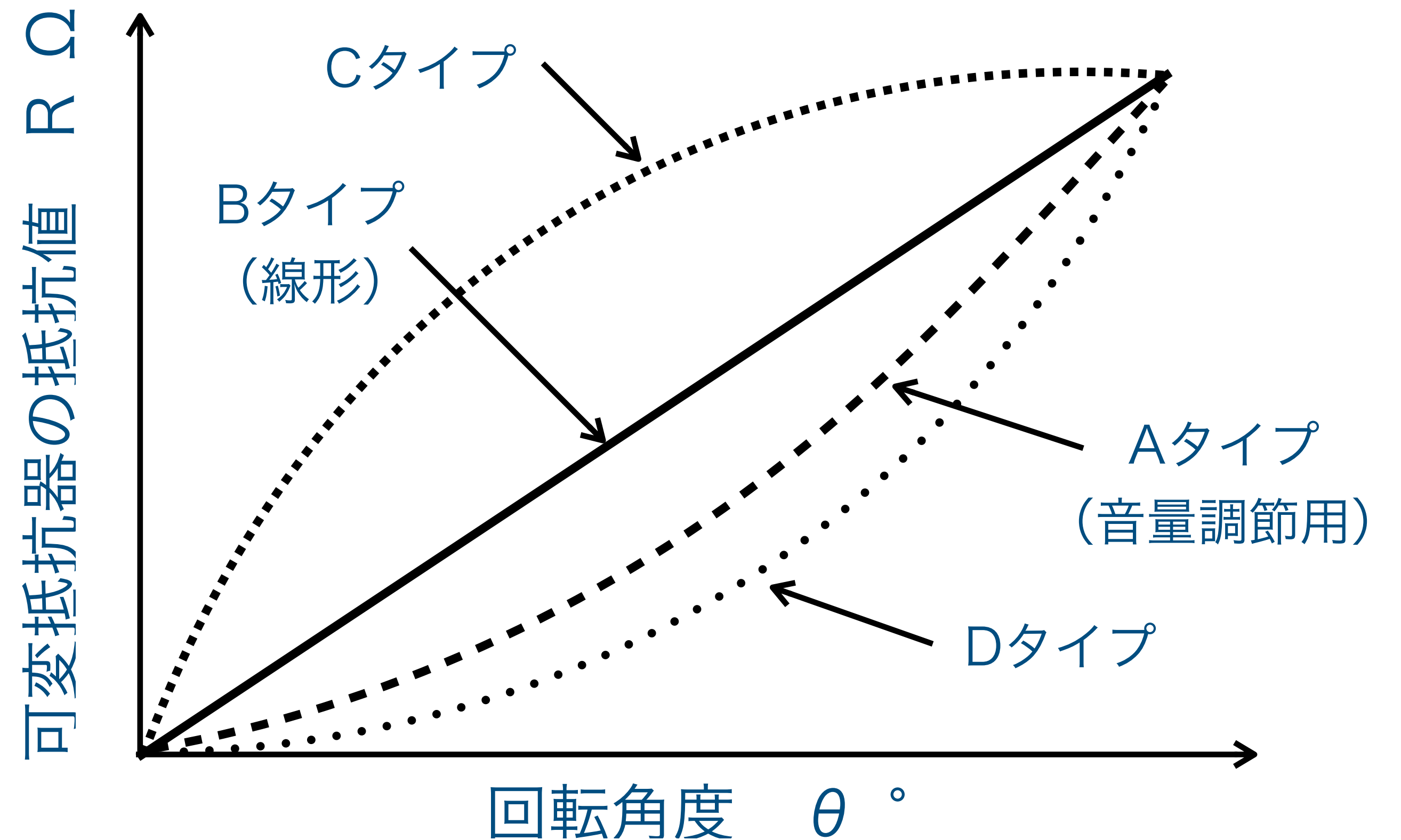
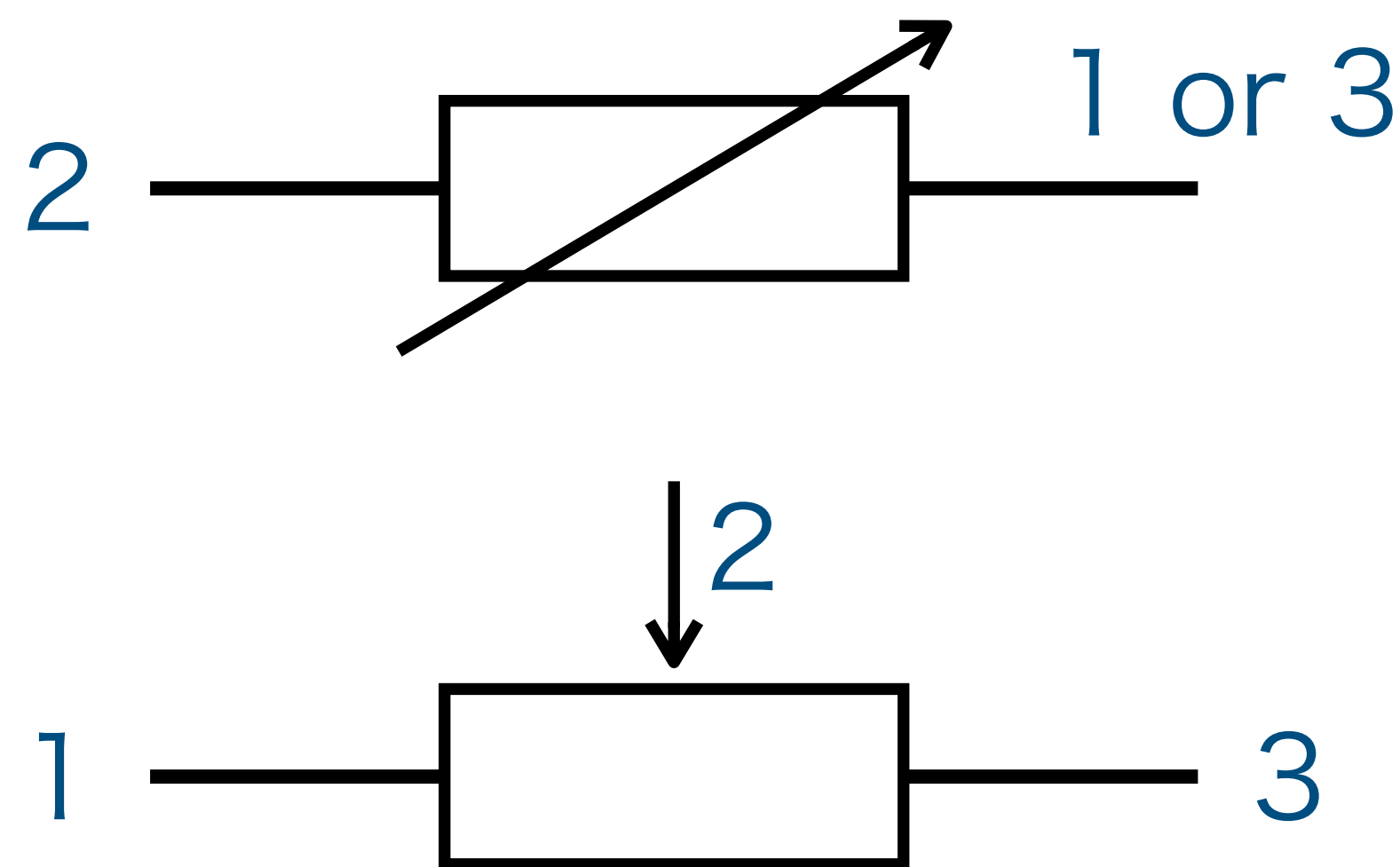
可変抵抗器 (ボリューム)



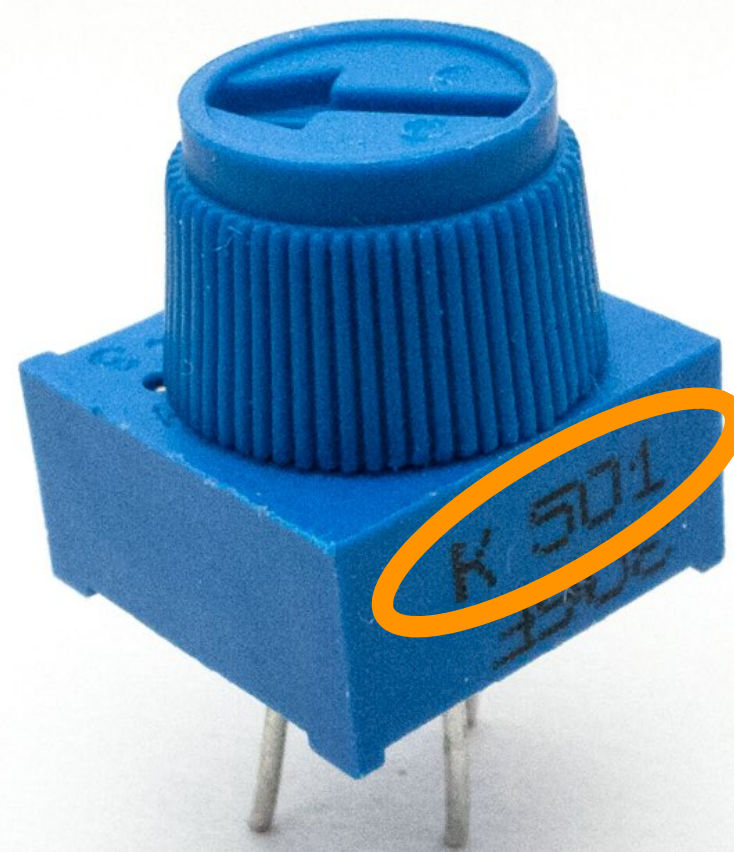
1と3の間の抵抗値が表示されている。

例：101と表示 $\rightarrow 10 \times 10^1 \Omega \rightarrow 100 \Omega$

501と表示 $\rightarrow 50 \times 10^1 \Omega \rightarrow 500 \Omega$

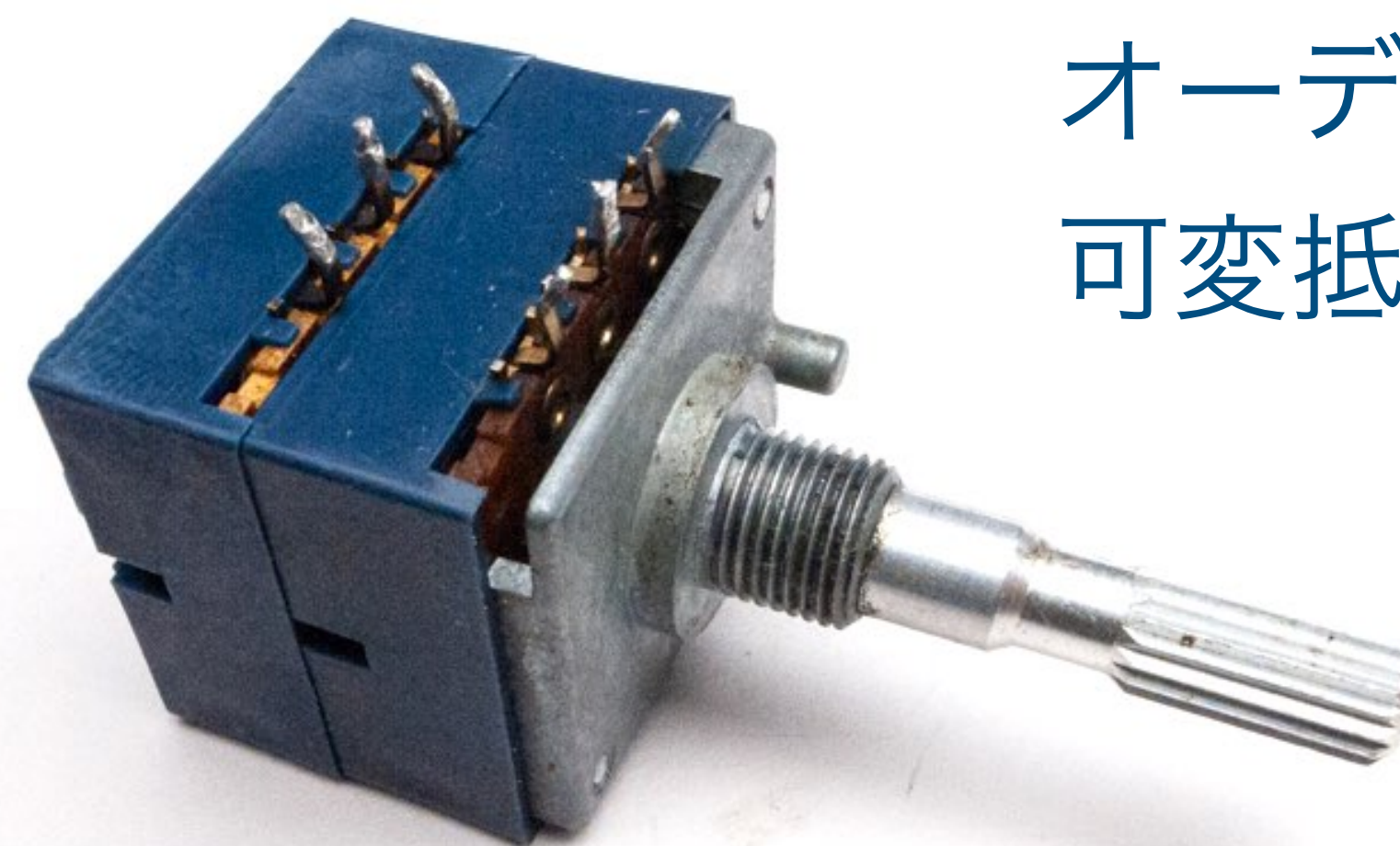


いろいろな可変抵抗器

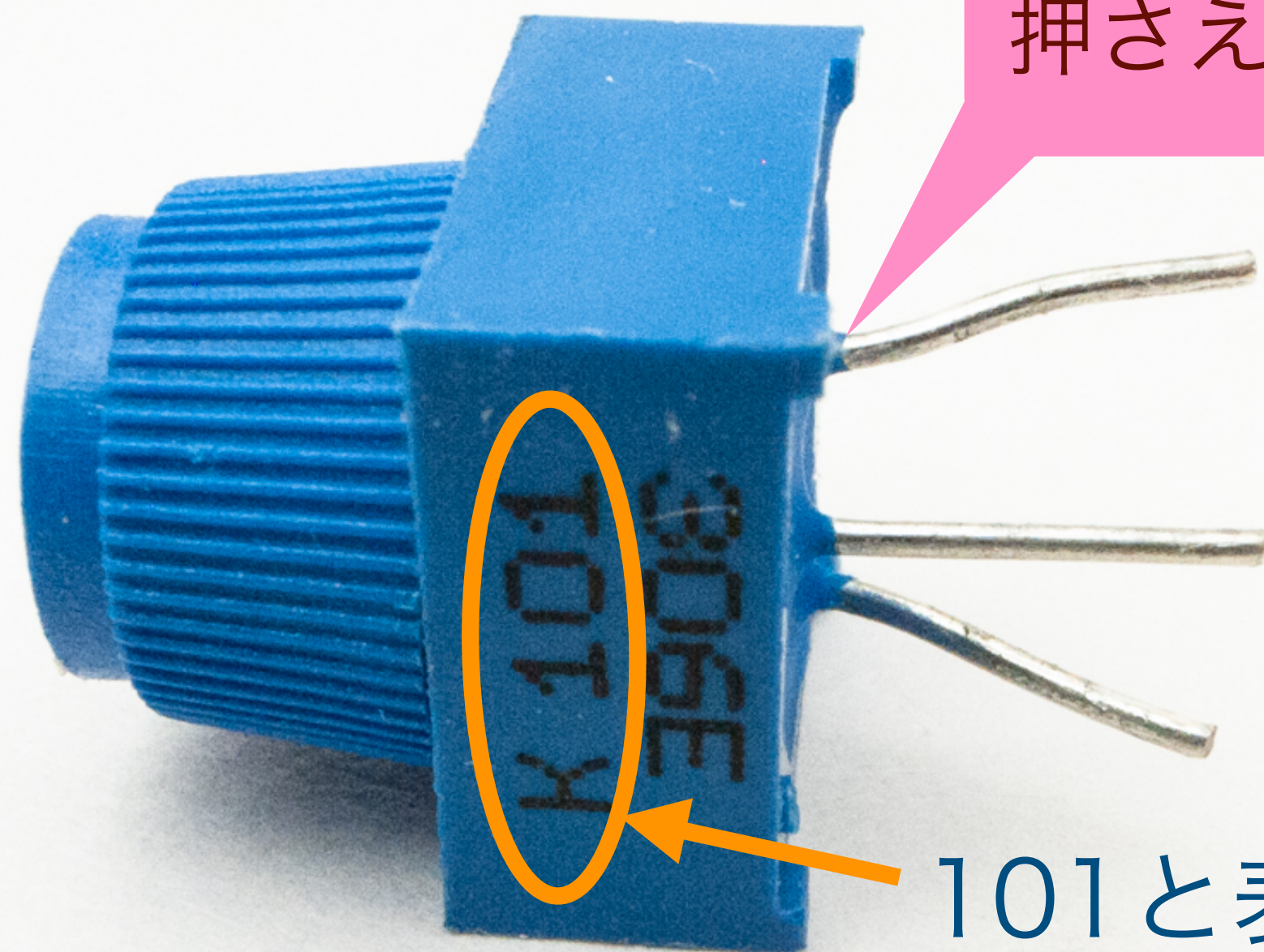


501と表示 → 500 Ω

ブレッドボードで使用する際は、指で本体を押さえて操作する。



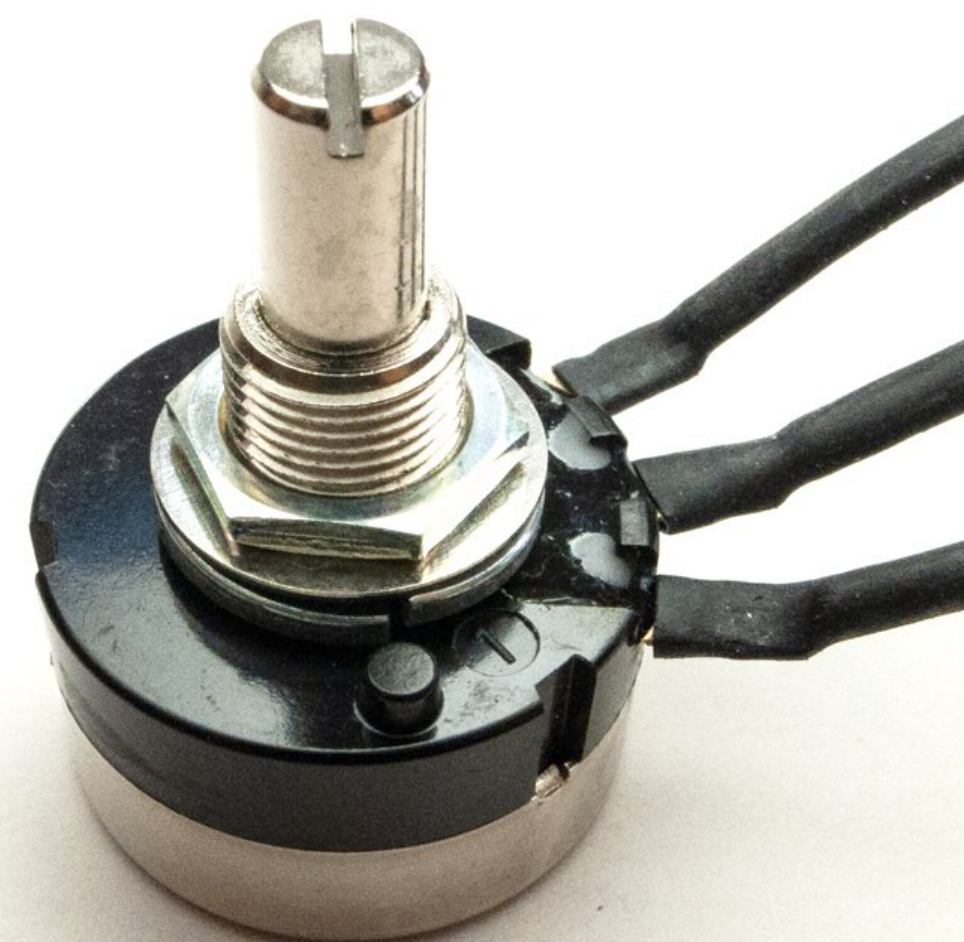
オーディオ用2連可変抵抗器



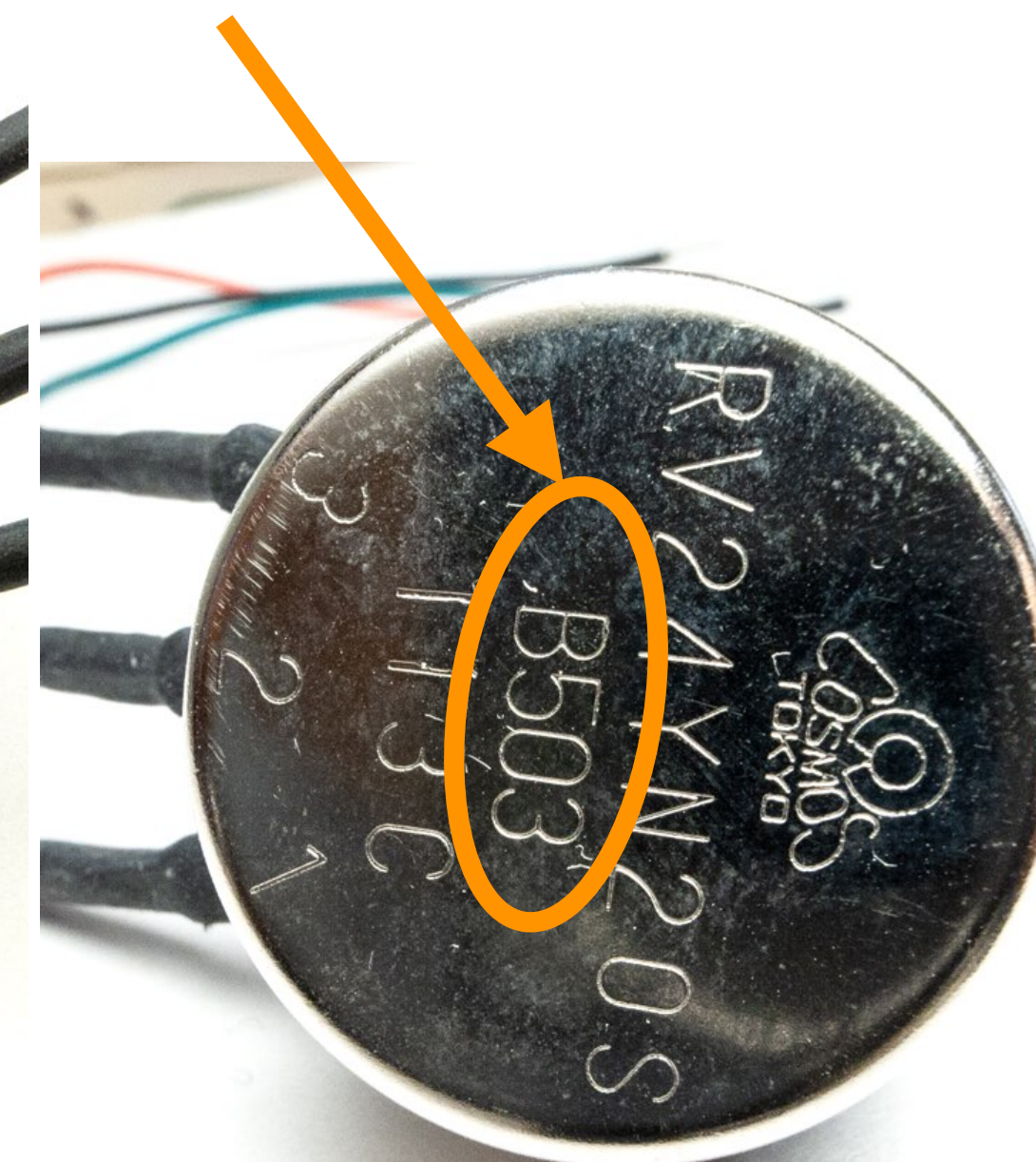
101と表示 → 100 Ω

半固定抵抗器

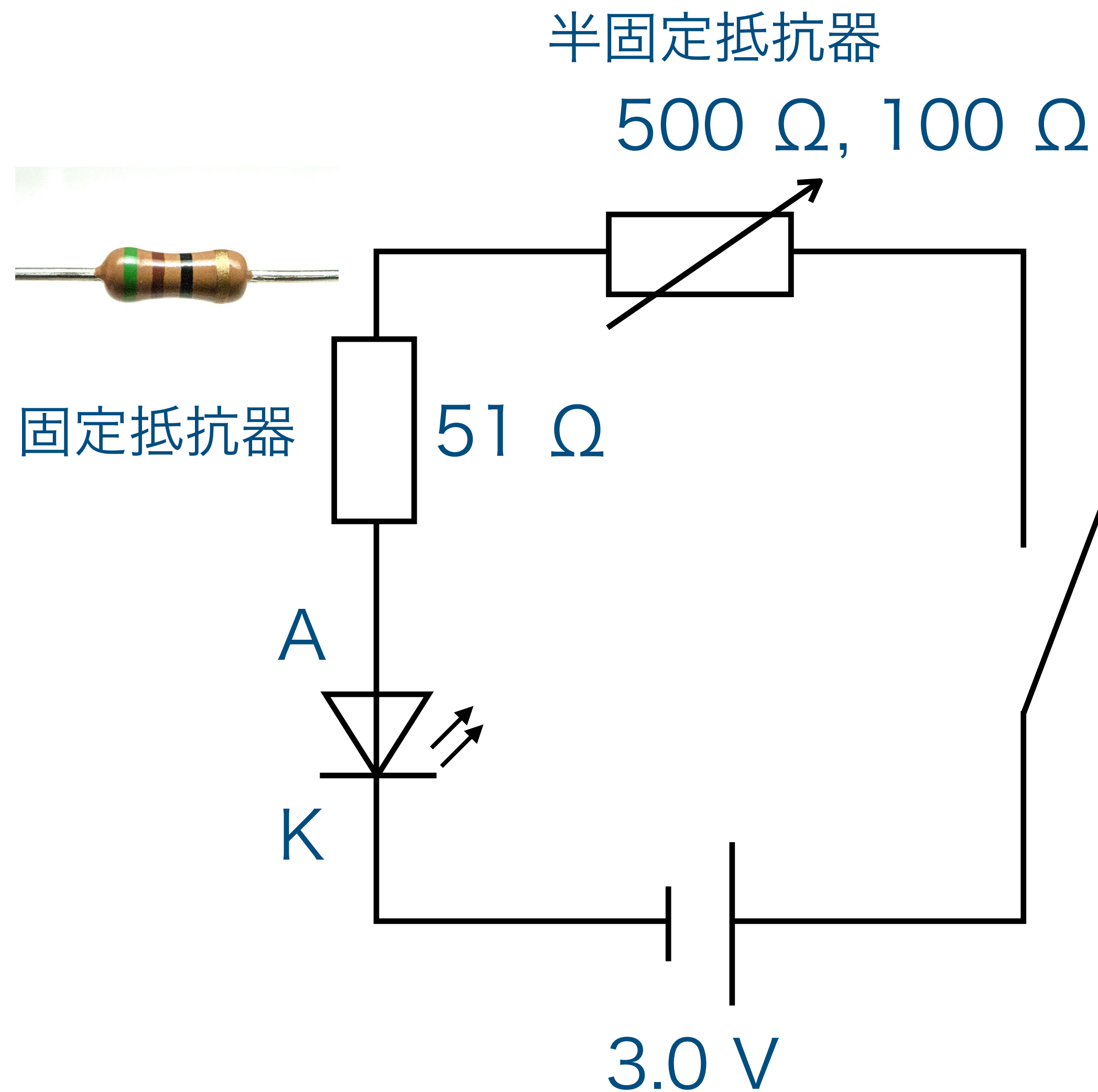
B503と表示 → Bタイプ50 kΩ



可変抵抗器



電流制限抵抗の抵抗値を連続的に変える



問い：この回路をブレッドボードの上で組んで、半固定抵抗器のつまみを回した時のLEDの明るさの変化を観察してみよう。

スイッチを押しながら半固定抵抗器のつまみを回すのは大変なので、スイッチは省いても良い。

LEDの消費電力

固定抵抗器+可変抵抗器での
消費電力 (熱)

3.5~31.6 mW

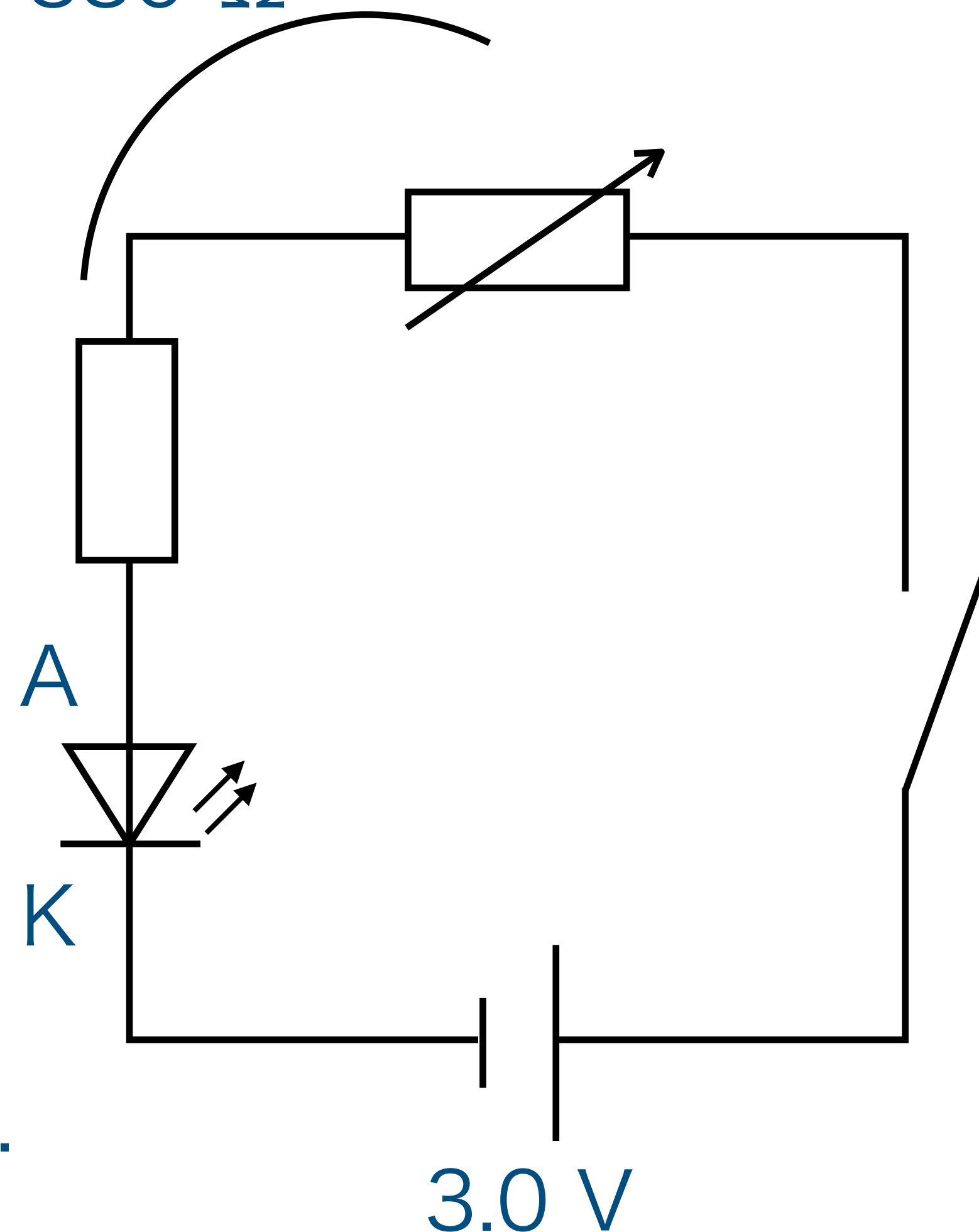
LEDでの消費電力 (光+熱)

4.5~40.7 mW

発熱が少ない
から省エネ

ほぼ同程度の電力が抵抗器で消費 (排熱) される。

51 ~ 330 Ω



可変抵抗器では明るさを滑らかに変えにくい

可変抵抗器の回転角度と明るさの変化の関係が不自然。つまみの中央あたりでかなり暗くなってしまい、それ以下に回しても明るさ（暗さ）の変化は少ない。

抵抗器で明るさを変えるのは得策ではない

ではどうしたら良いか？

問い：家電製品である照明器具やモニタの明るさはどうやって変えているのか？

第2部

複数のLEDを点灯させる回路を作ってみよう

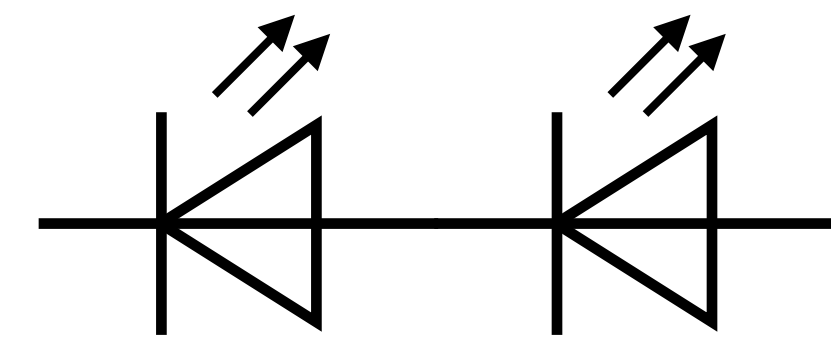
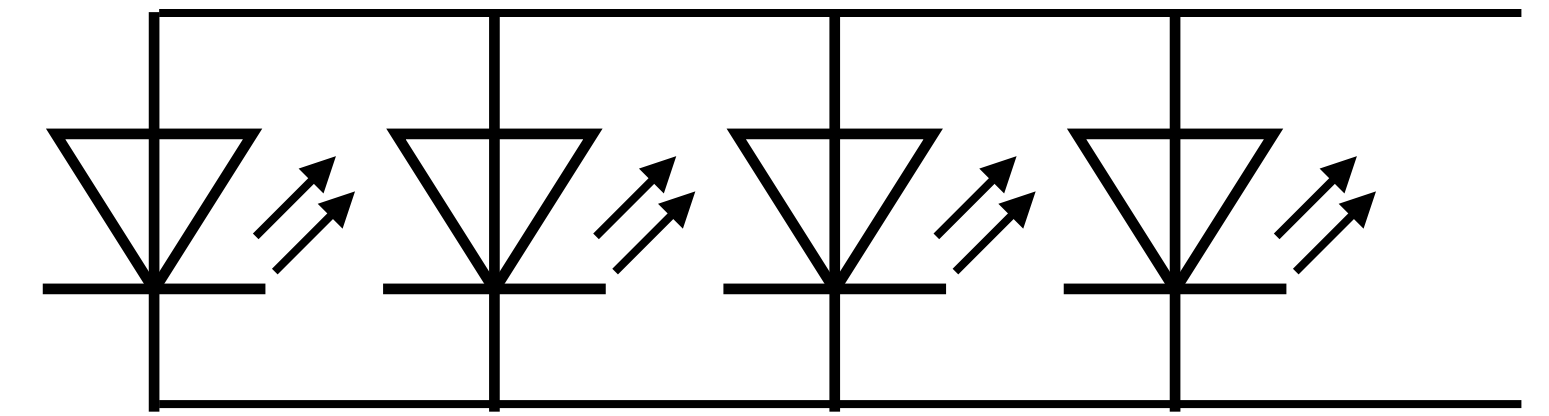
問い：

(1) 並列に接続した4個の赤色LEDをほぼ同じ明るさで点灯させる回路を設計せよ。ただしLEDに電流は約3.6mAとし、電源を乾電池3Vとする。

(2) 直列に接続した2個の赤色LEDに前問と同程度の電流を流して点灯させる回路を設計せよ。電源を乾電池6Vとする。

ブレッドボードで回路を作って実験してみよう。

LEDの使い方の違いを耐久性・信頼性の観点から考察してみよう。

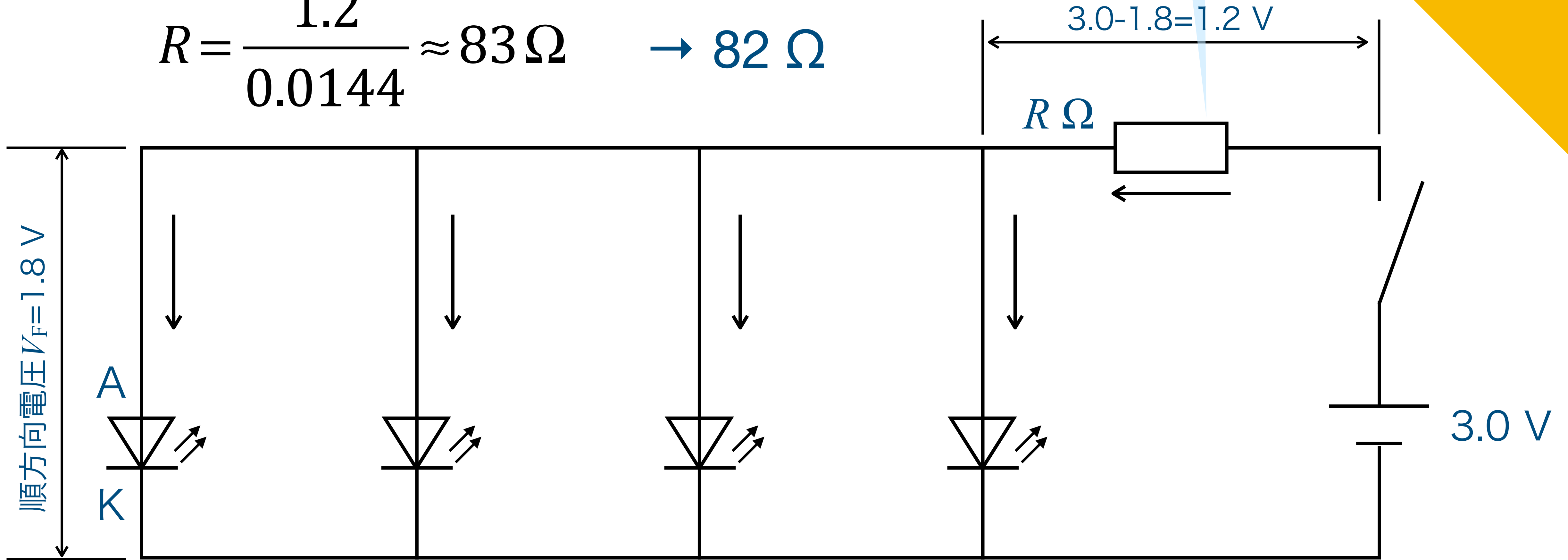


(1) の解答例1

3.6 mAずつ4個のLEDに流すとすると合計で14.4 mA.

解答

$$R = \frac{1.2}{0.0144} \approx 83 \Omega \rightarrow 82 \Omega$$



問い：抵抗は1個で済むけれど何が問題か？

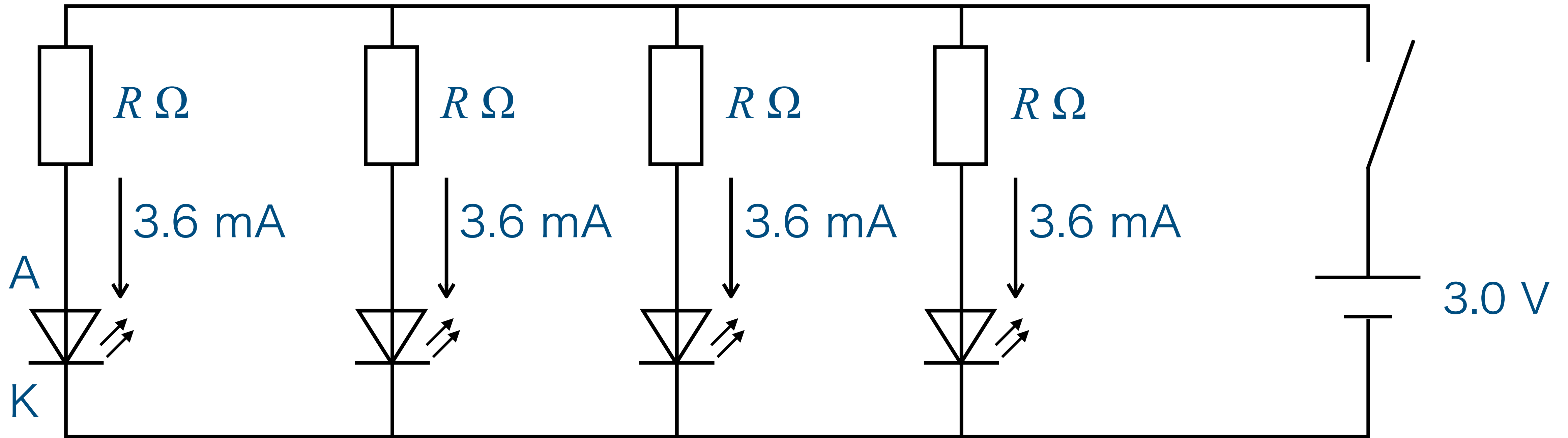
黒	茶	赤	橙	黄	緑	青	紫	灰	白	金	銀
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	-1	-2

(1) の解答例2

解答

$$R = \frac{1.2}{0.0036} \approx 333 \Omega \rightarrow 330 \Omega$$

$$3.6 \times 4 = 14.4 \text{ mA}$$



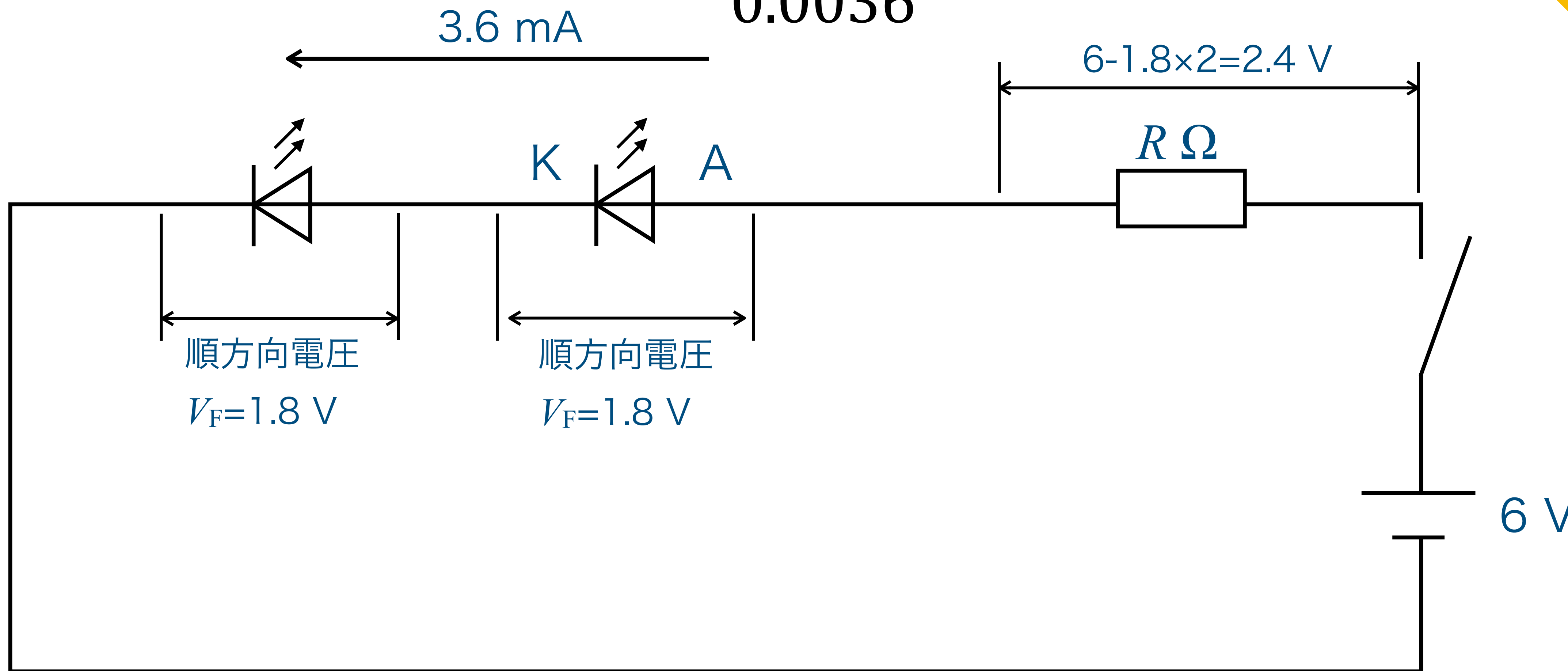
黒	茶	赤	橙	黄	緑	青	紫	灰	白	金	銀
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	-1	-2

抵抗は4個必要だけれども各LEDに3.6 mAずつ流すことができる。

(2) の解答例

$$R = \frac{2.4}{0.0036} = 667 \Omega \rightarrow 680 \Omega$$

解答



黒	茶	赤	橙	黄	緑	青	紫	灰	白	金	銀
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	-1	-2

問い：こうすれば確実に3.6 mA流せるが、弱点（不利なこと）は何か？

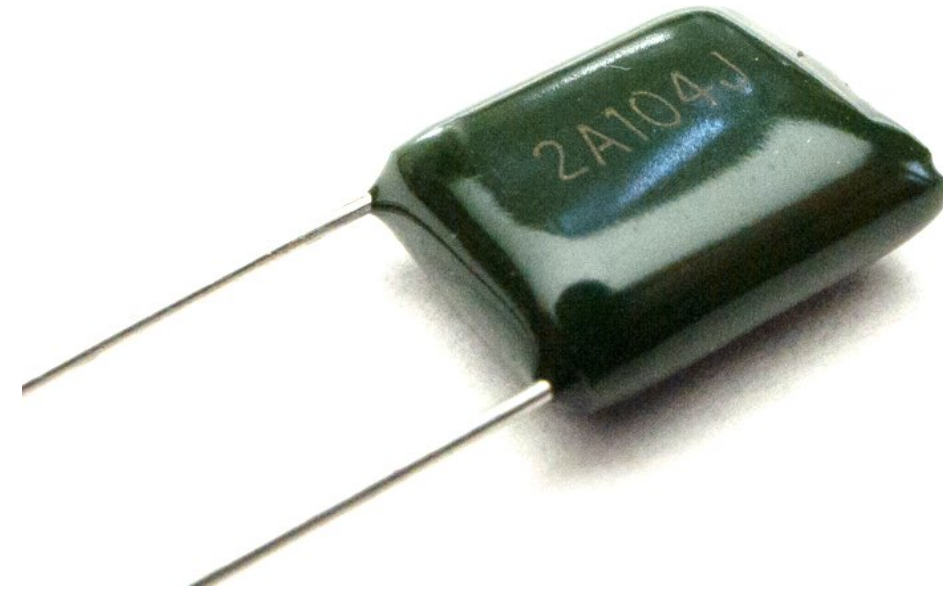
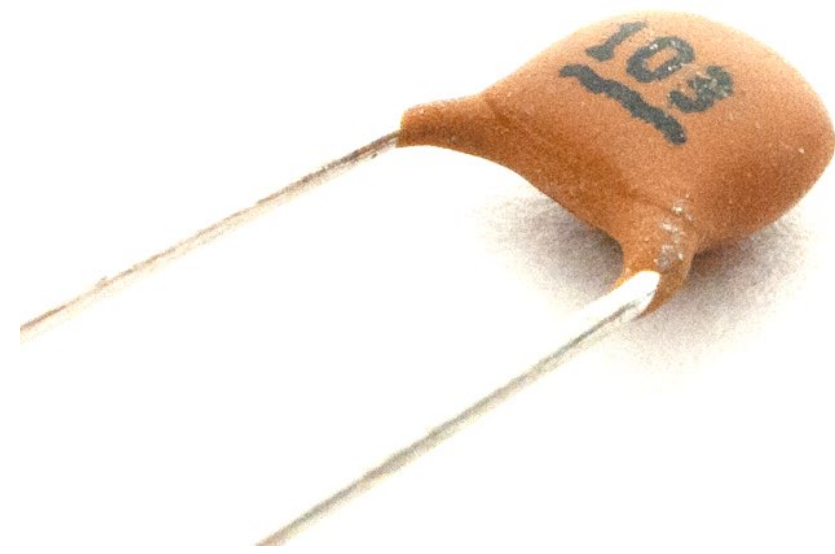
LEDを点滅させるには？

新たに2種類の部品を使う。

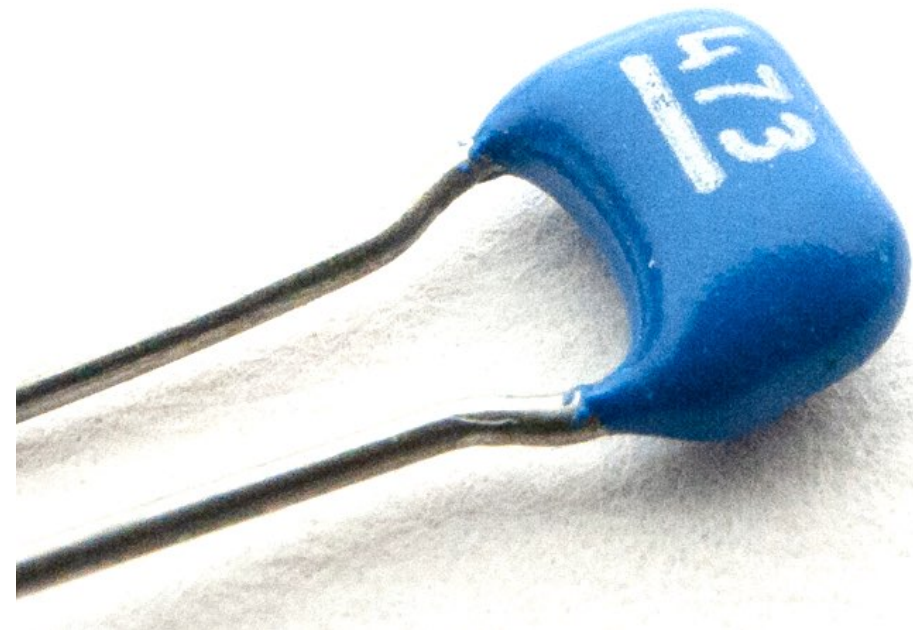
1.コンデンサ 充電と放電を使って点滅のタイミングをとる。

2.トランジスタ 電子的にON/OFFをさせるスイッチとして使う。

コンデンサの種類



フィルム・コンデンサ

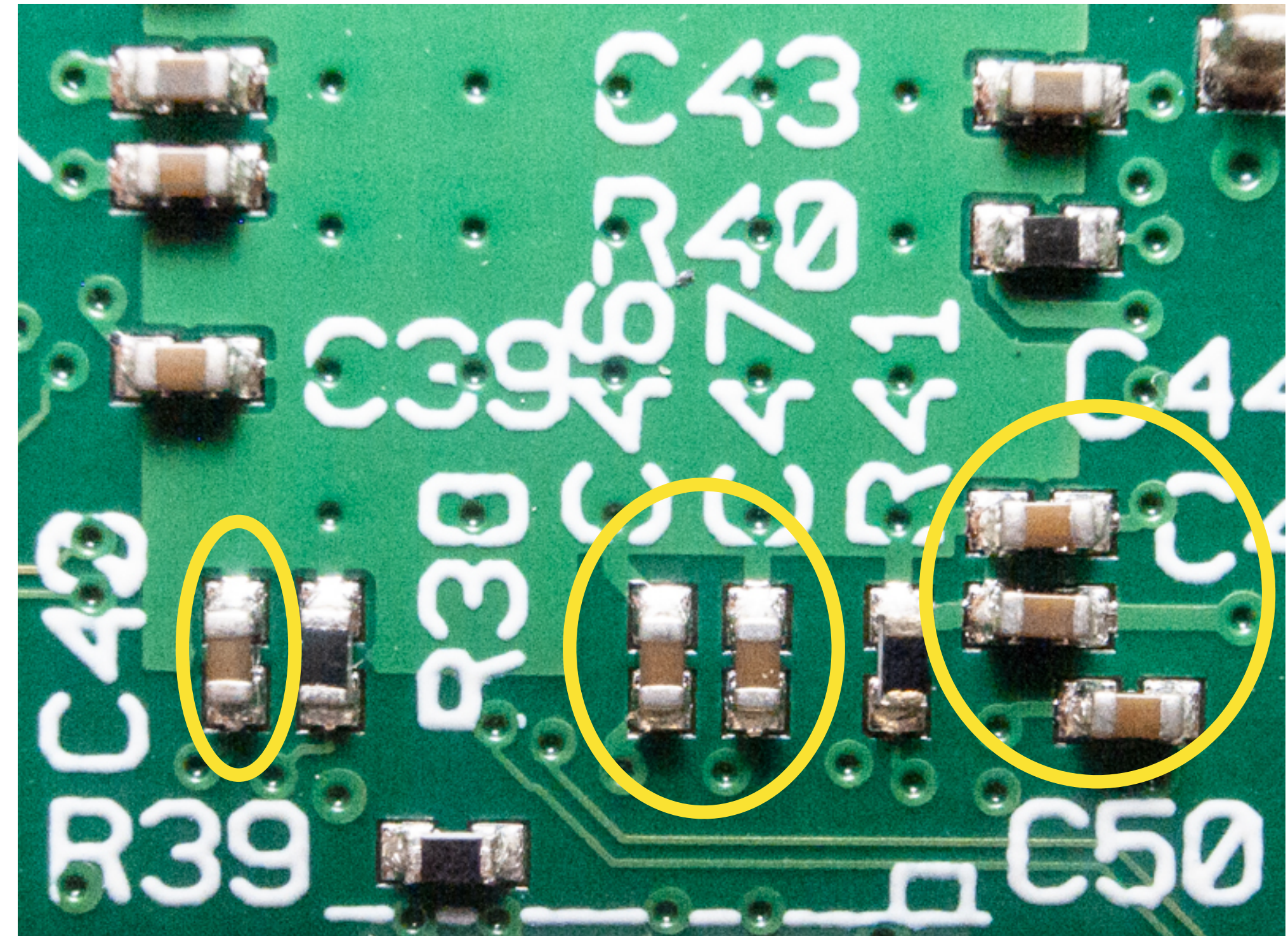


セラミック・コンデンサ



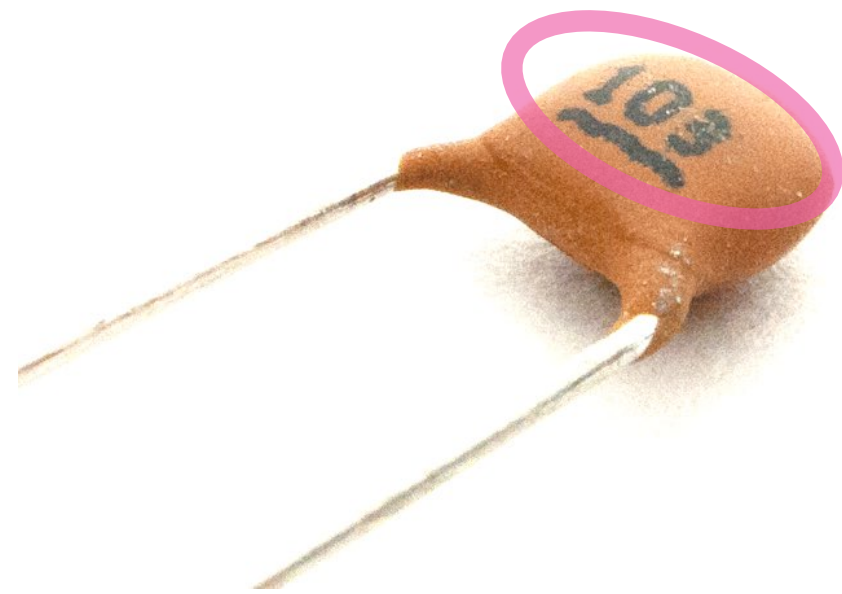
アルミ電解コンデンサ

今回使用



チップコンデンサ

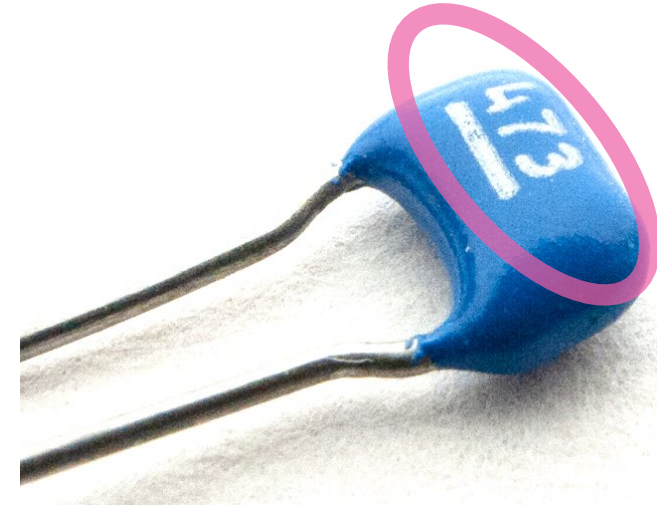
コンデンサの容量の読み方



103と表示

→ 10×10^3 pF

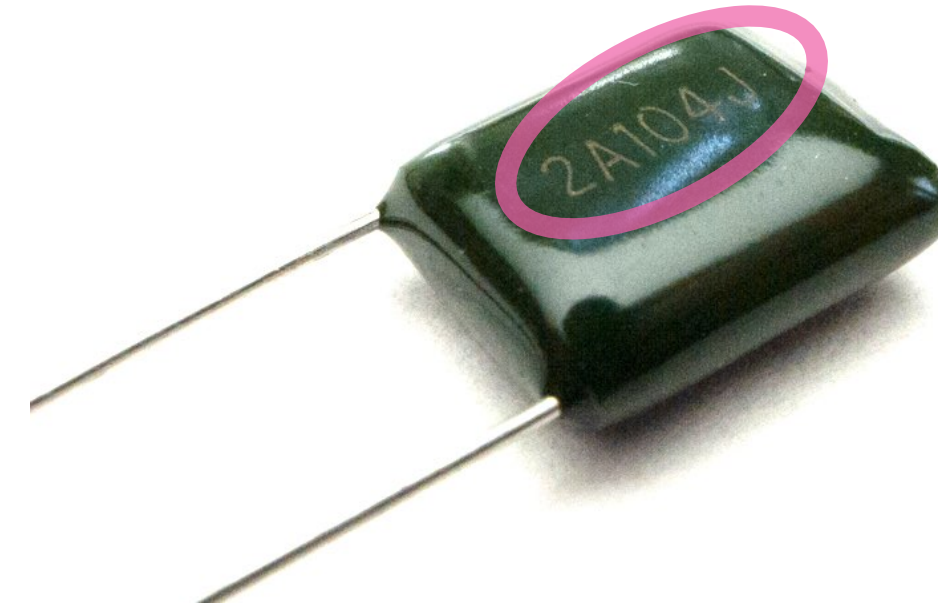
→ $0.01 \mu\text{F}$



473と表示

→ 47×10^3 pF

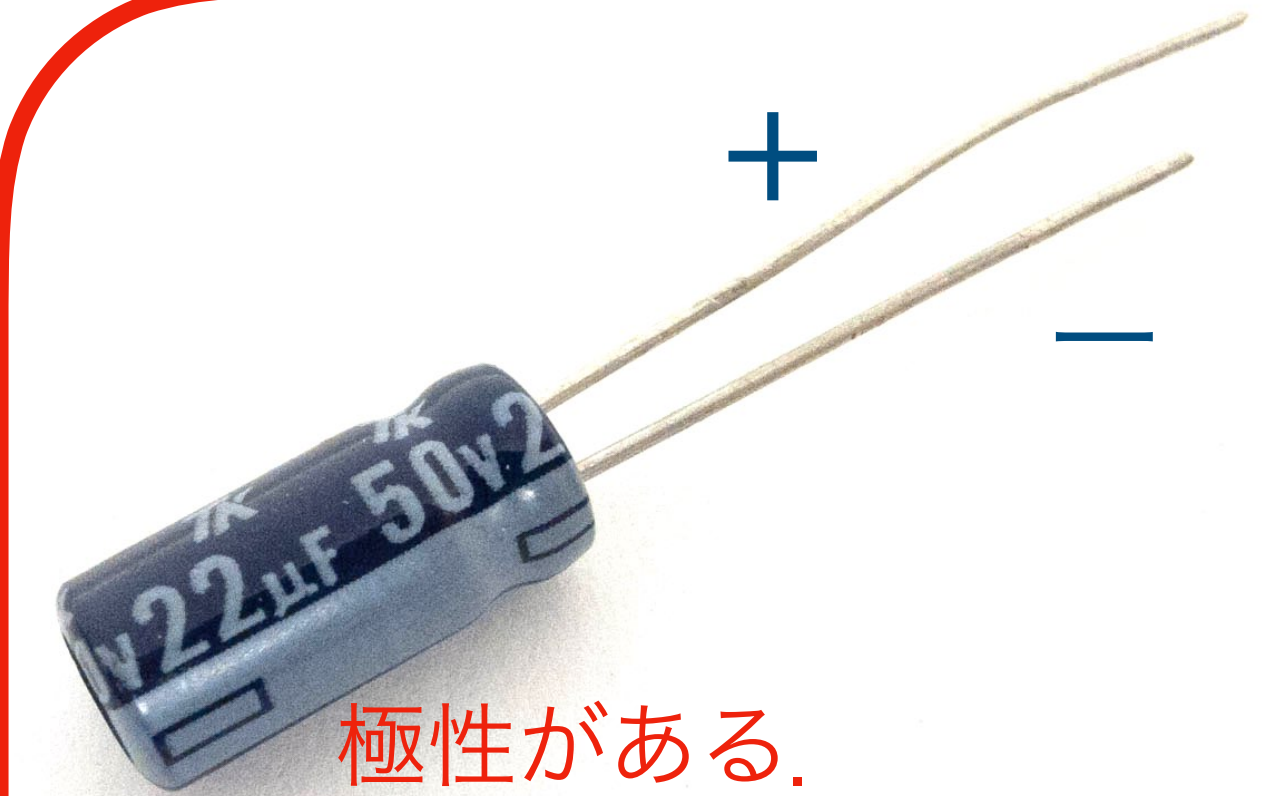
→ $0.047 \mu\text{F}$



104と表示

→ 10×10^4 pF

→ $0.1 \mu\text{F}$



極性がある.

白い帯の方が- (マイナス)

そうでない方が+ (プラス)

$22 \mu\text{F}$, 50 V

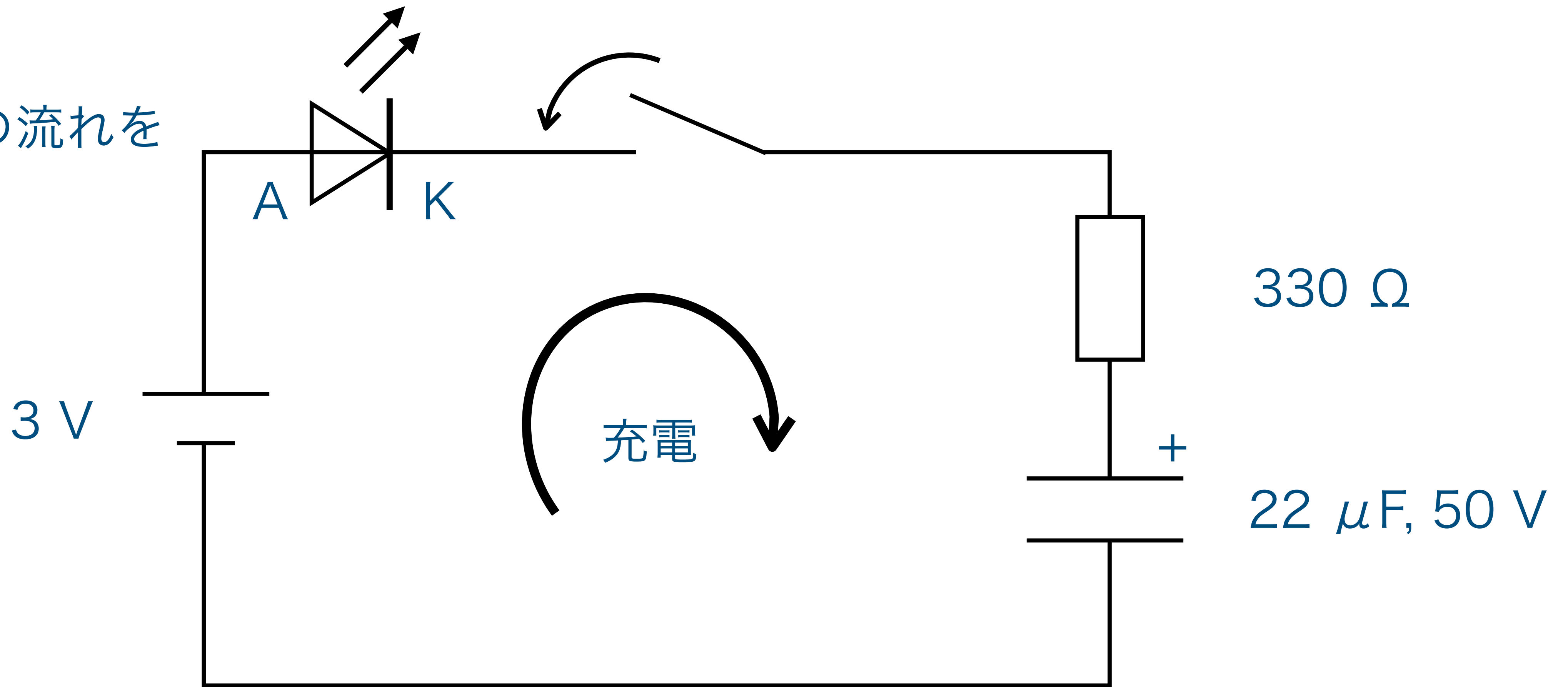
電解コンデンサは、本体に μF の数値と耐電圧が書かれている。

$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$, $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$

今回使用

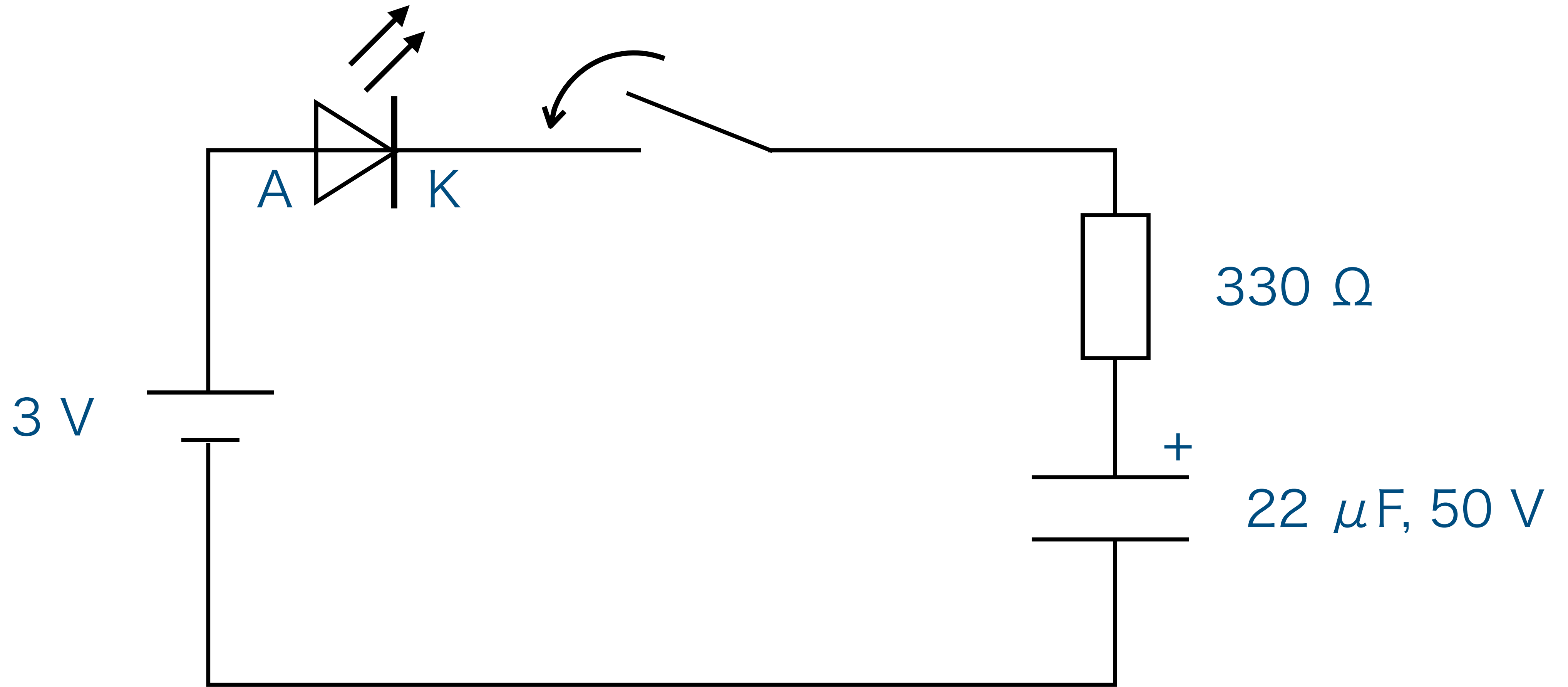
コンデンサの充電

LEDで電流の流れを可視化する。



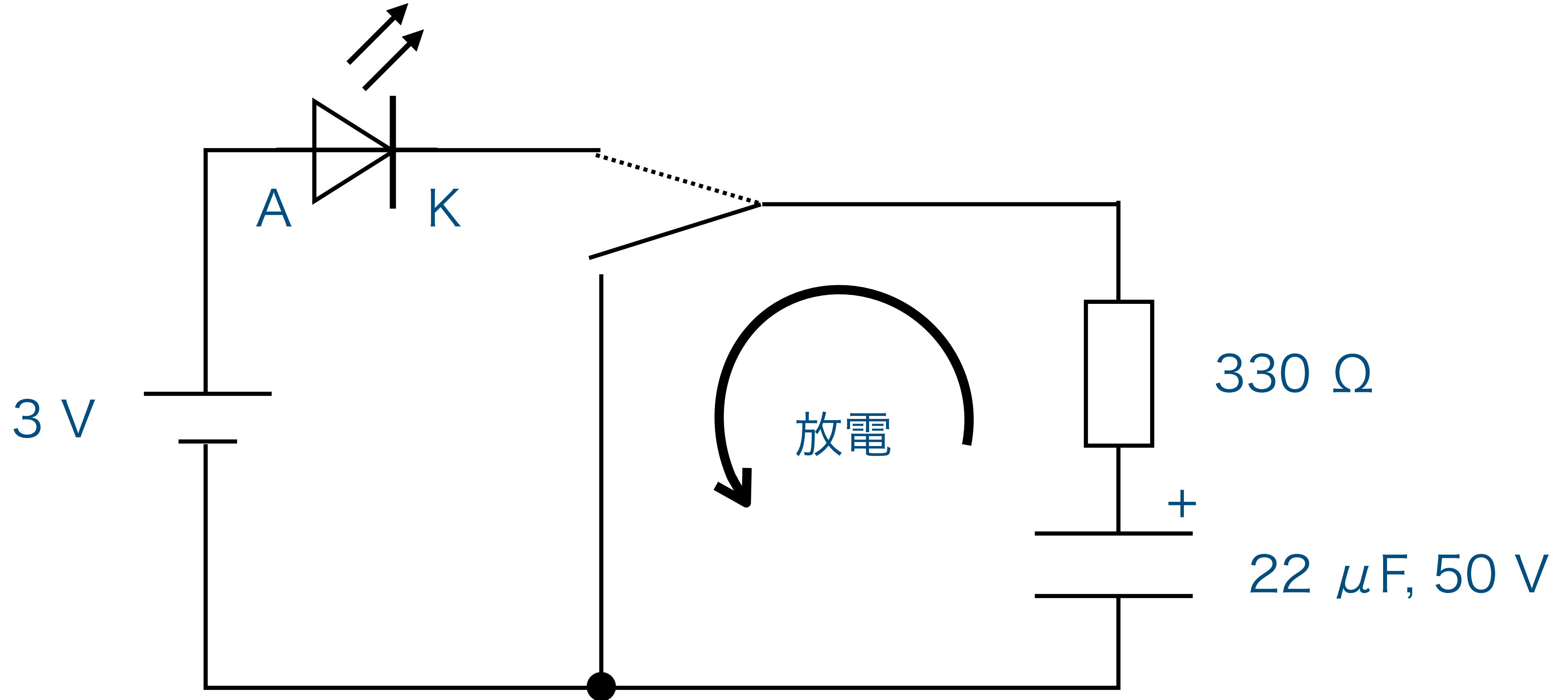
問い：スイッチをONにしたとき，LEDはどのように点灯または消灯をしたか？このとき，どのような現象が生じているのか？

もう一度同じことを繰り返す



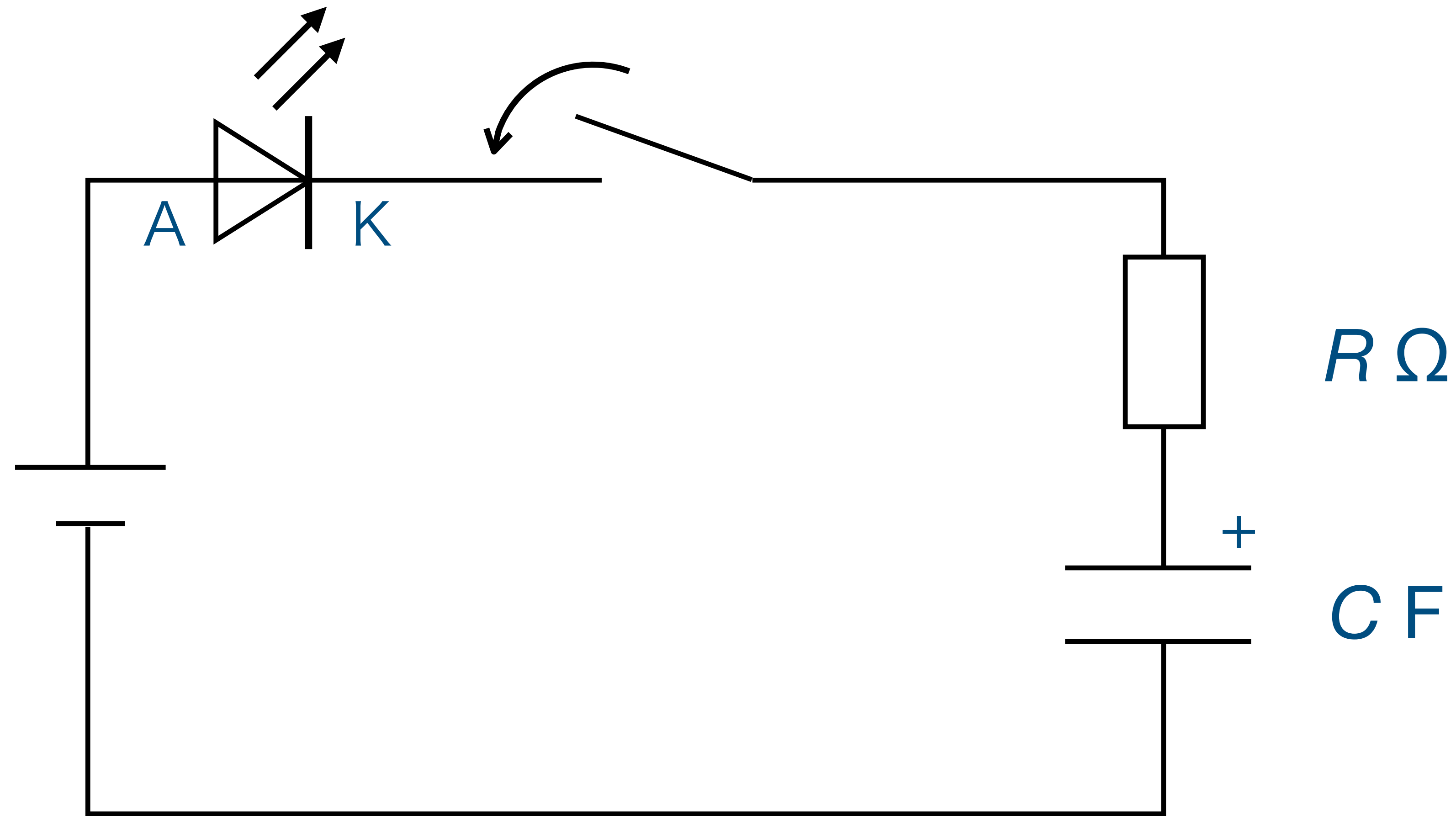
問い：LEDはどのように点灯または消灯をしたか？
このとき、どのような現象が生じているのか？

コンデンサに蓄えられた電荷を放電する



問い：LEDはどのように点灯または消灯をしたか？
このとき、どのような現象が生じているのか？

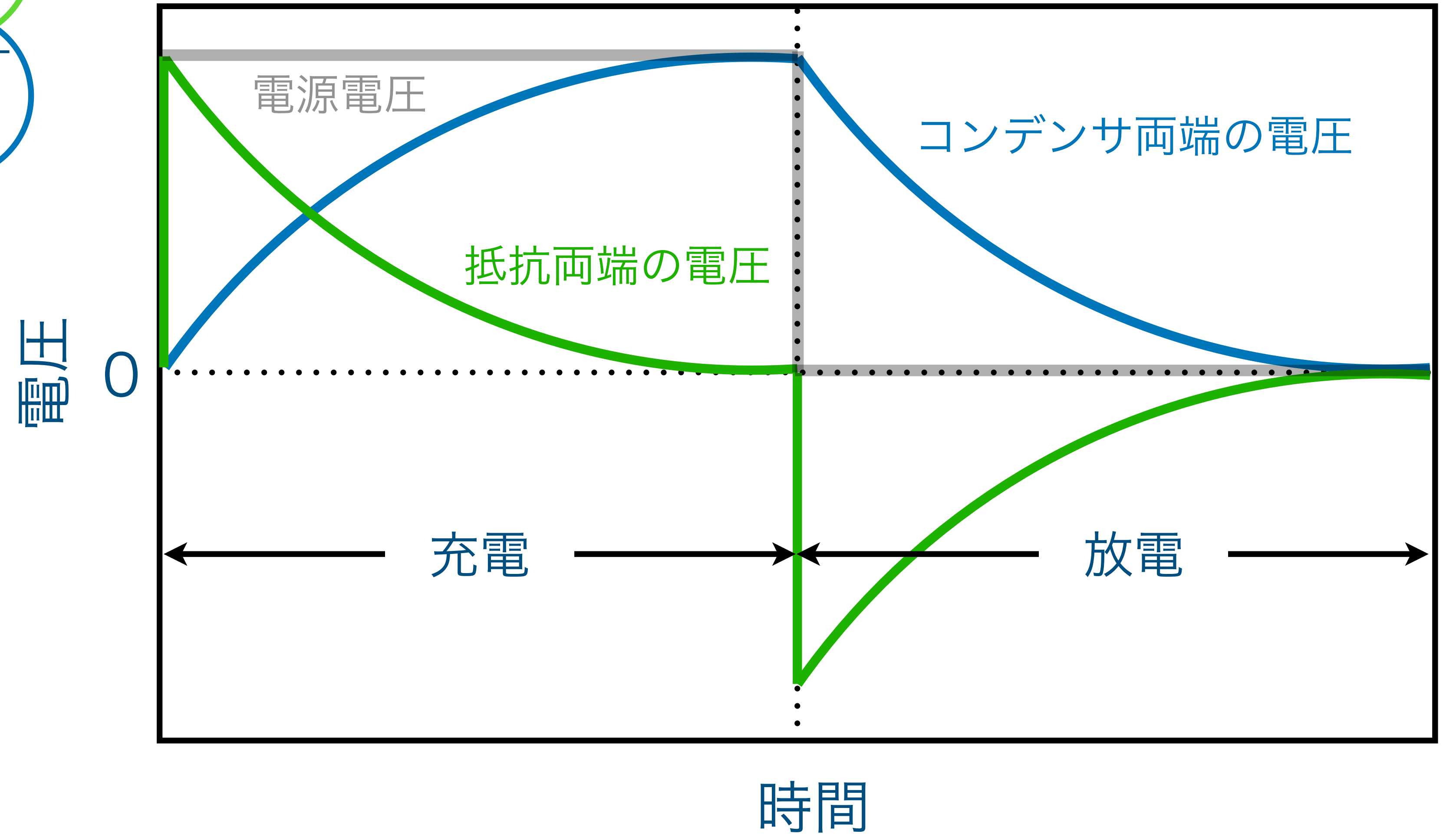
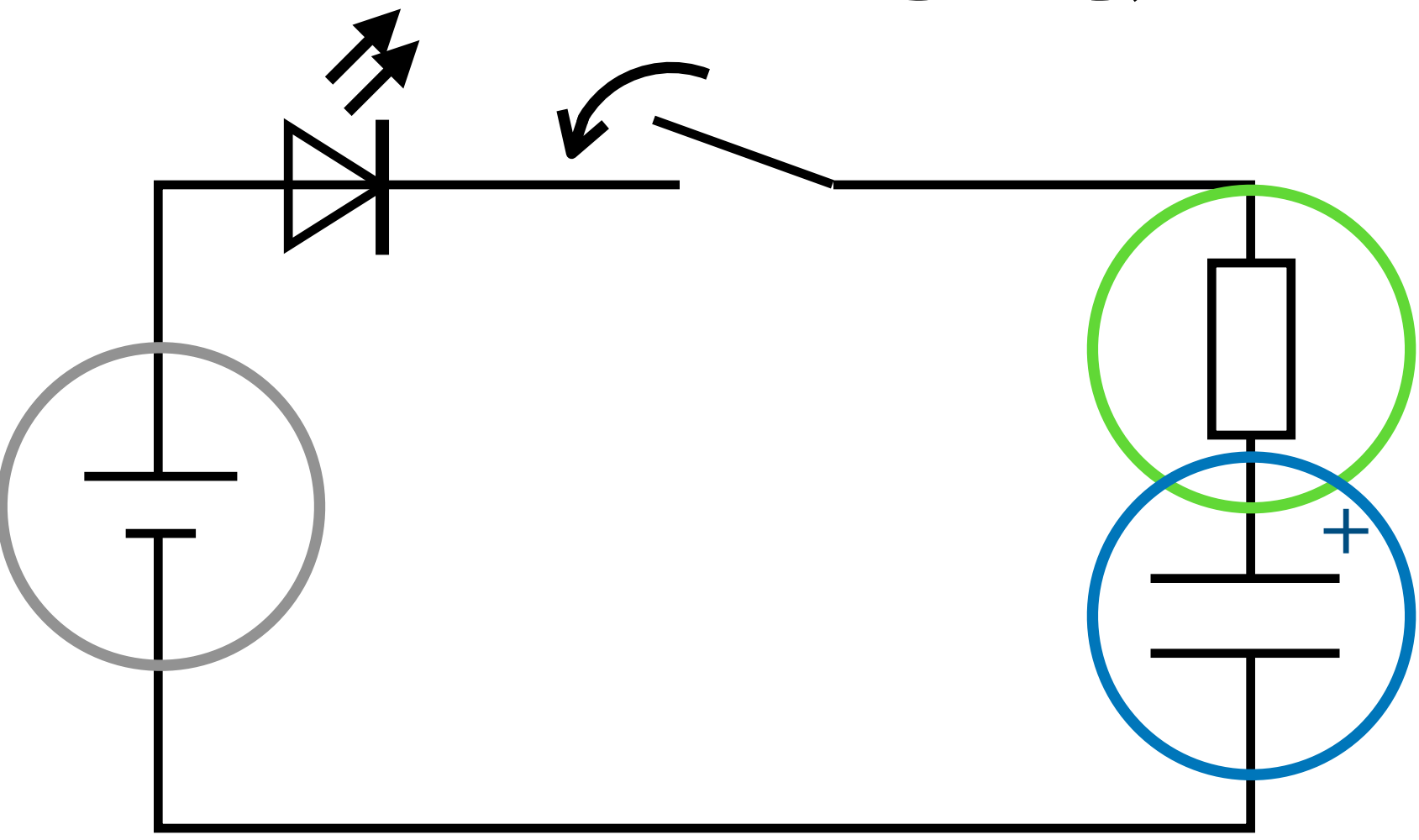
LEDが点灯している時間



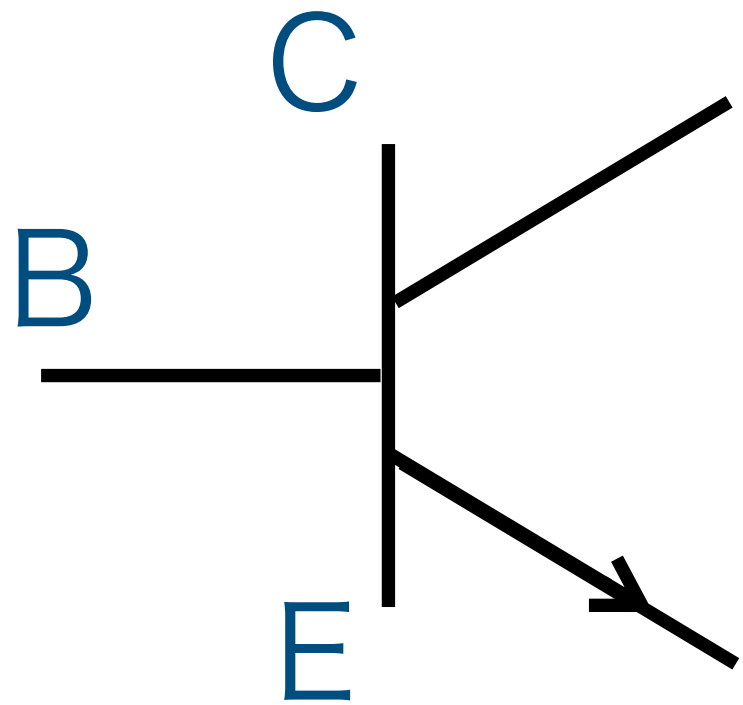
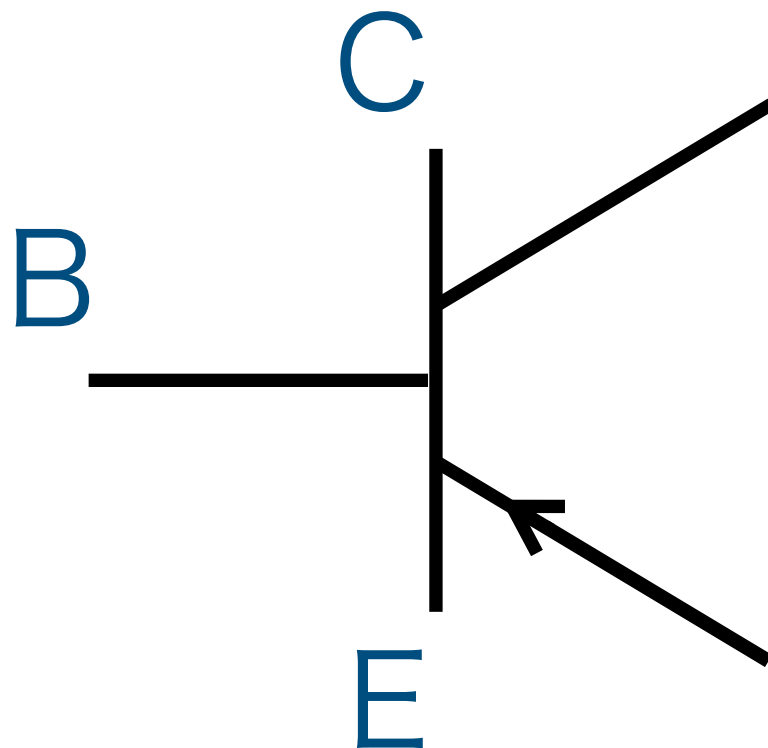
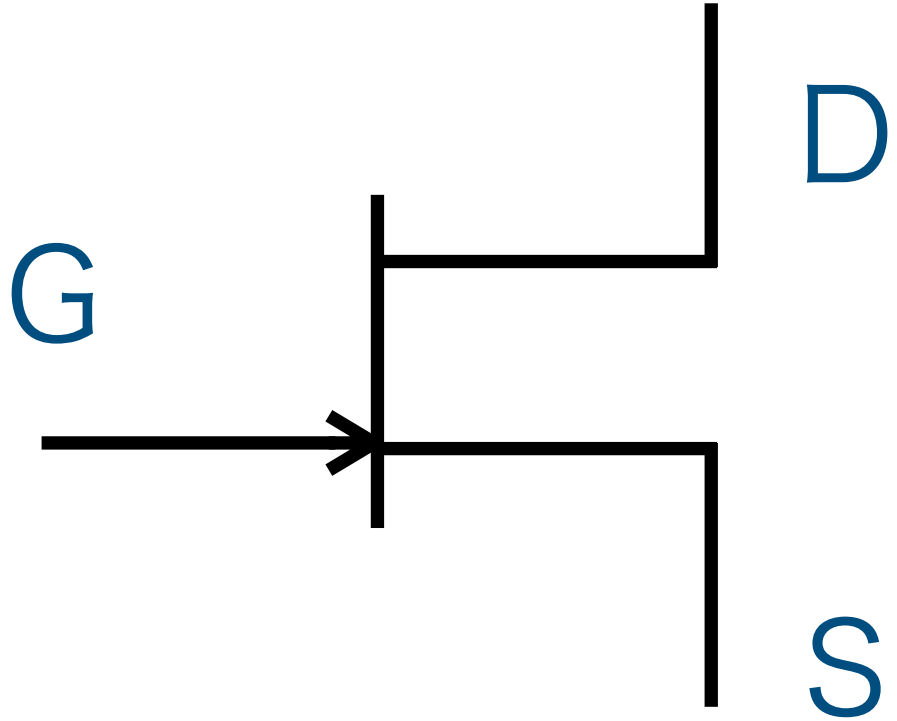
時定数= RC s

$R=330 \Omega$, $C=22 \mu\text{F}$ の場合 時定数= $330 \times 22 \times 10^{-6} = 0.0073$ s

抵抗とコンデンサの両端の電圧



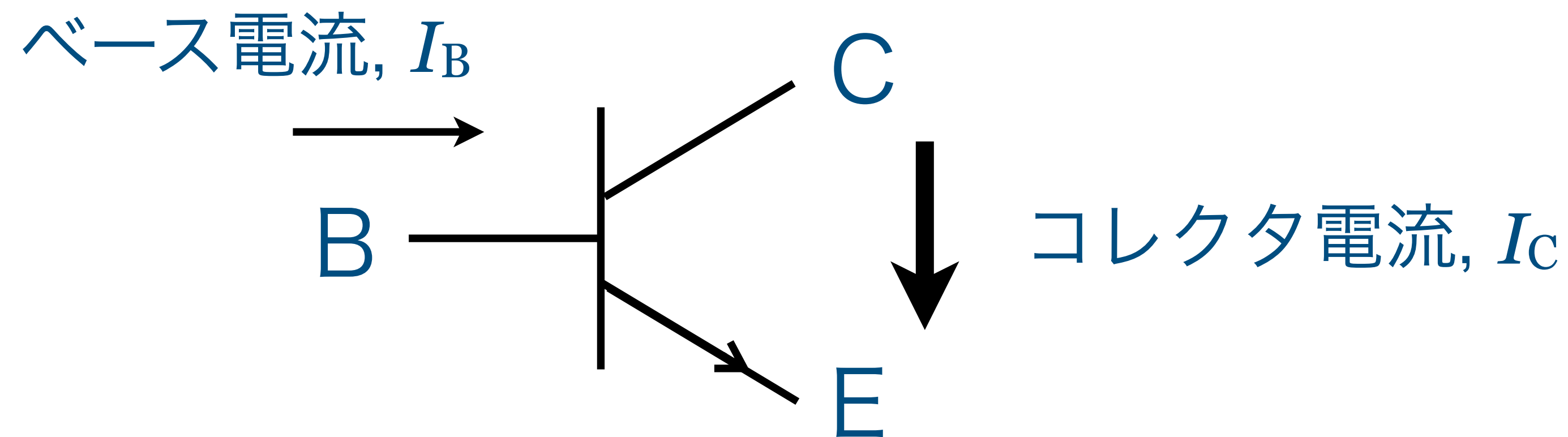
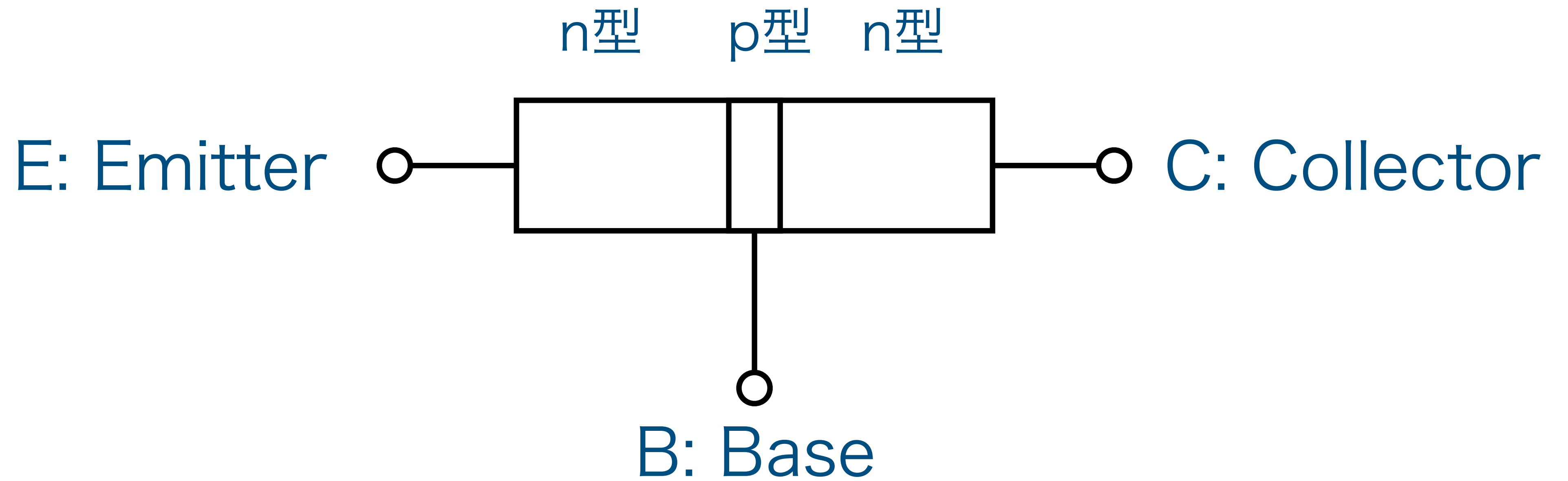
トランジスタの種類

バイポーラトランジスタ	ユニポーラトランジスタ	電界効果トランジスタ (FET)
電流で制御		電圧で制御
NPNトランジスタ 	PNPトランジスタ 	NチャンネルパワーMOSFETの例 

今回使用

MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) (モスエフイーティ)

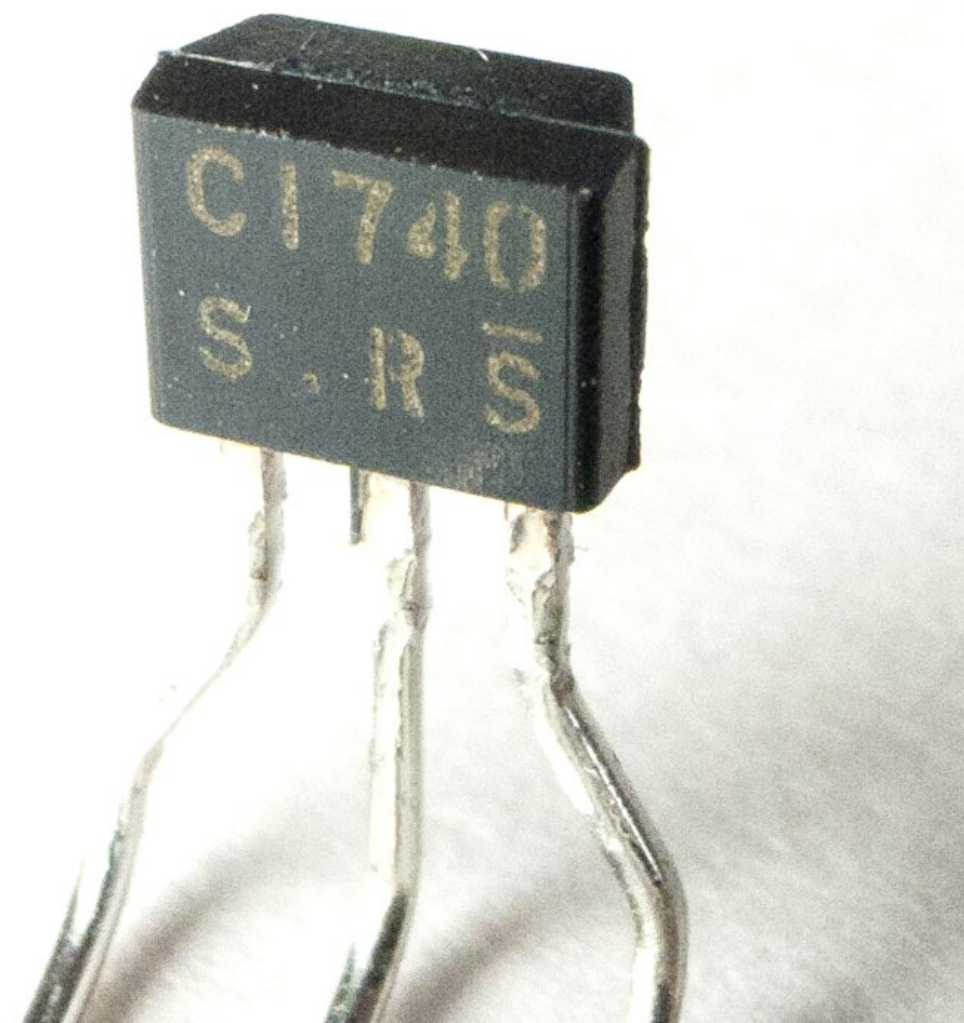
NPNトランジスタ



一般小信号増幅用NPNトランジスタの例

2SC1740S

(ローム社製)



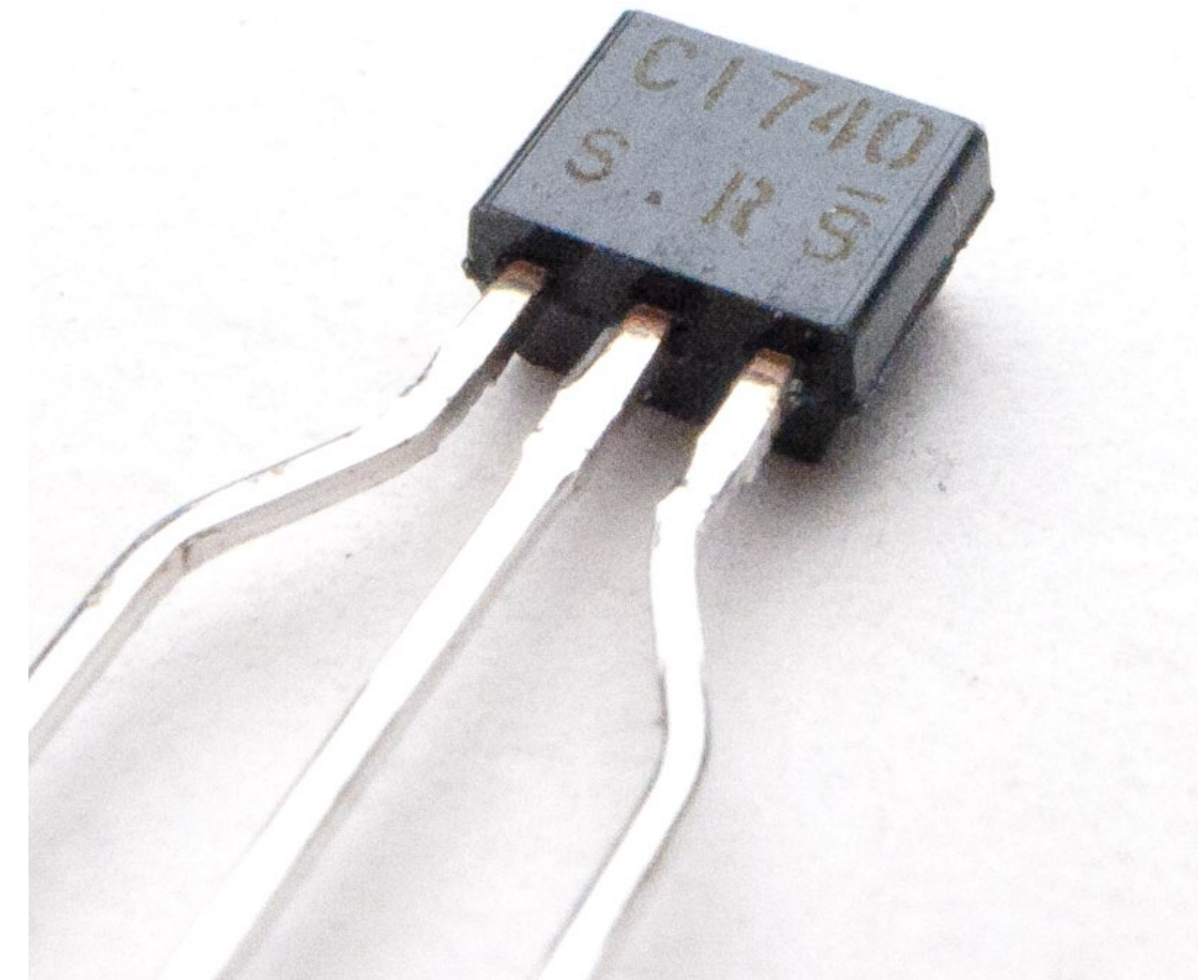
E C B

絶対最大定格 (25°C)

- ・コレクタ・ベース間電圧：60 V
- ・コレクタ・エミッタ間電圧：50 V
- ・エミッタ・ベース間電圧：7 V
- ・コレクタ電流：0.15 A
- ・コレクタ損失：0.3 W

電気的特性

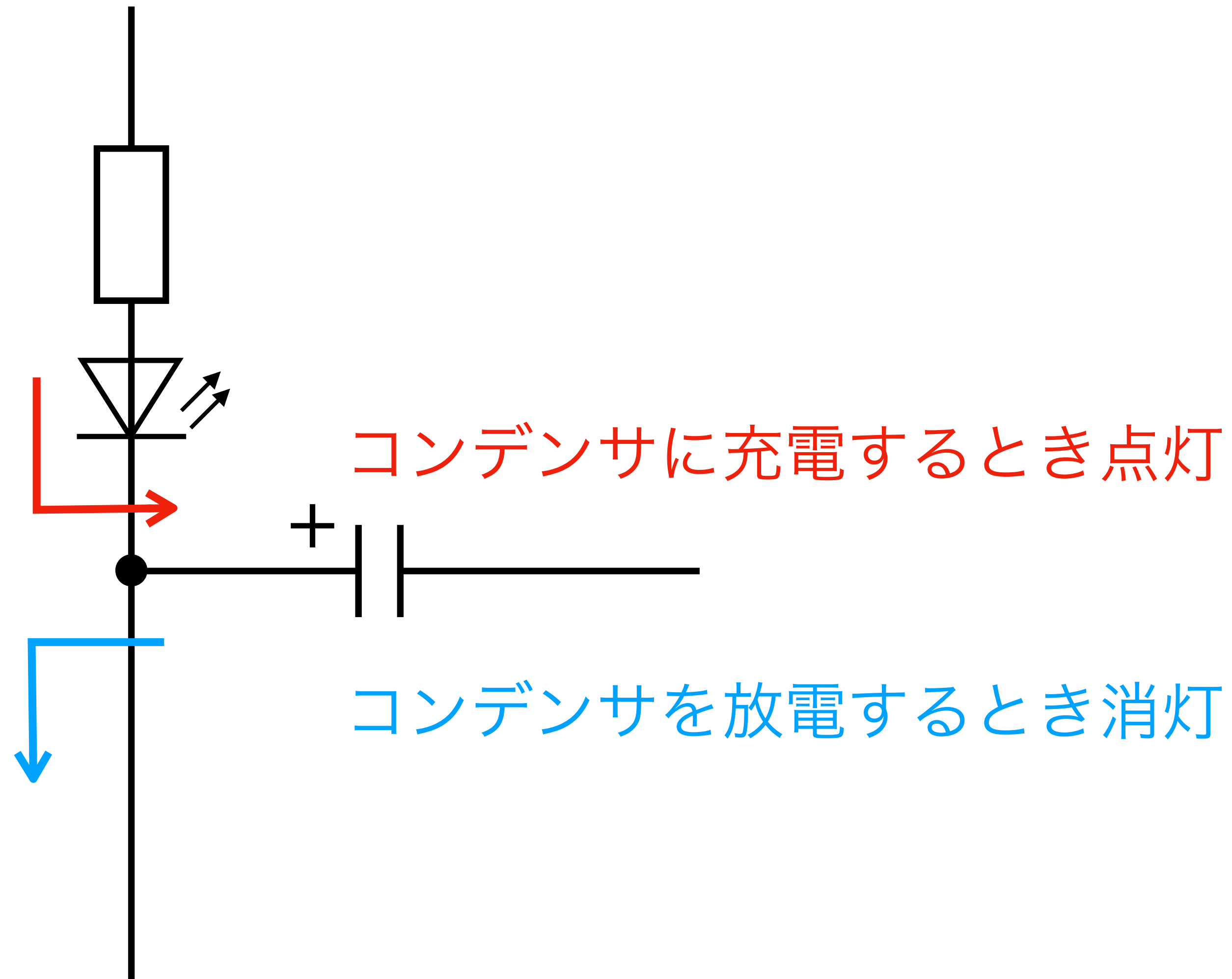
- ・直流電流増幅率：180～390 (Rランク) ($V_{CE}=6V, I_C=1mA$) h_{FE}
- ・利得帯域幅積：180 MHz ($V_{CE}=12V, I_E=-2mA, f=100MHz$)
- ・コレクタ出力容量：Max 3.5 pF ($V_{CB}=12V, I_E=0A, f=1MHz$)



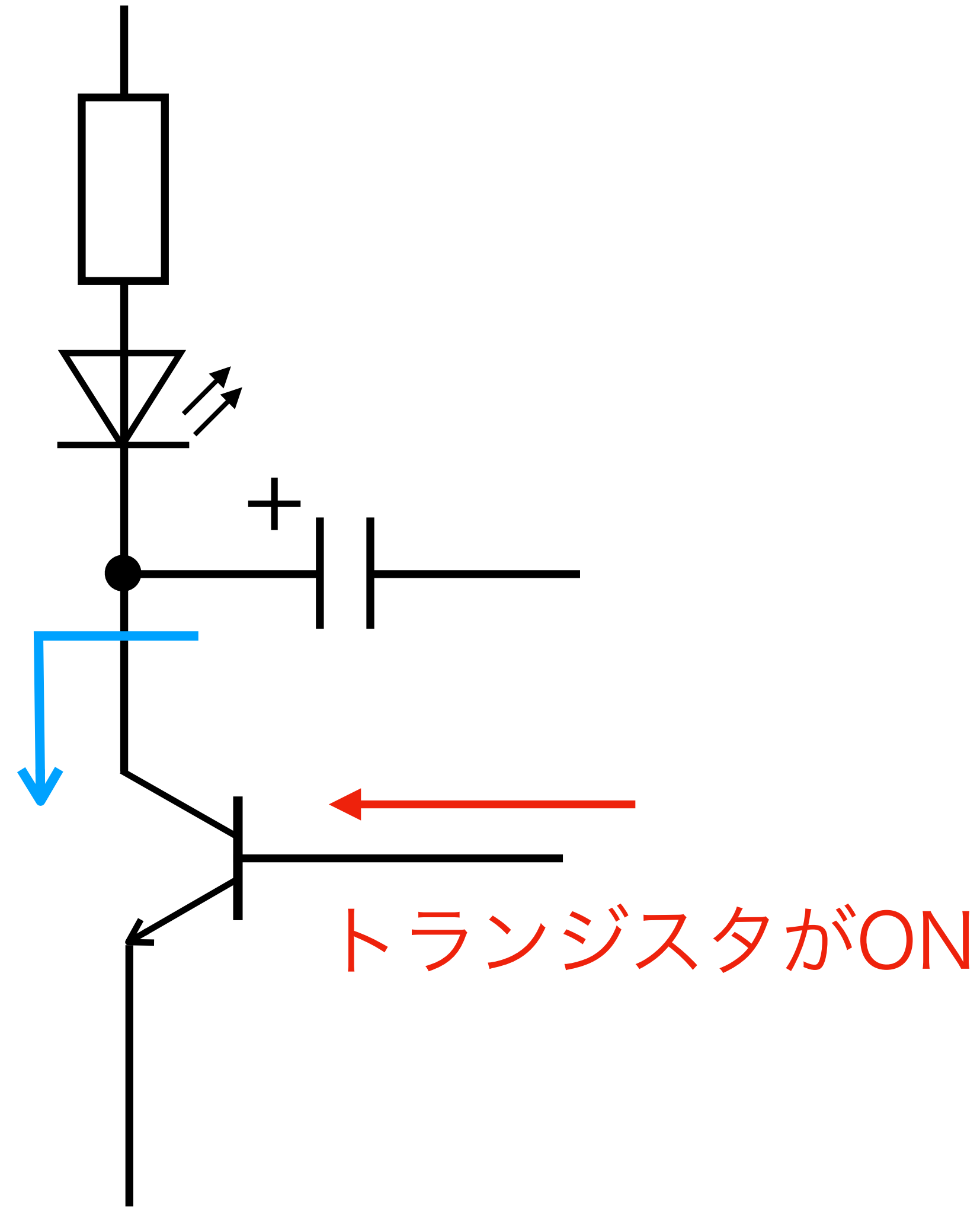
型番が書かれた方を手前にして左からECB

ローム社のデータシートより

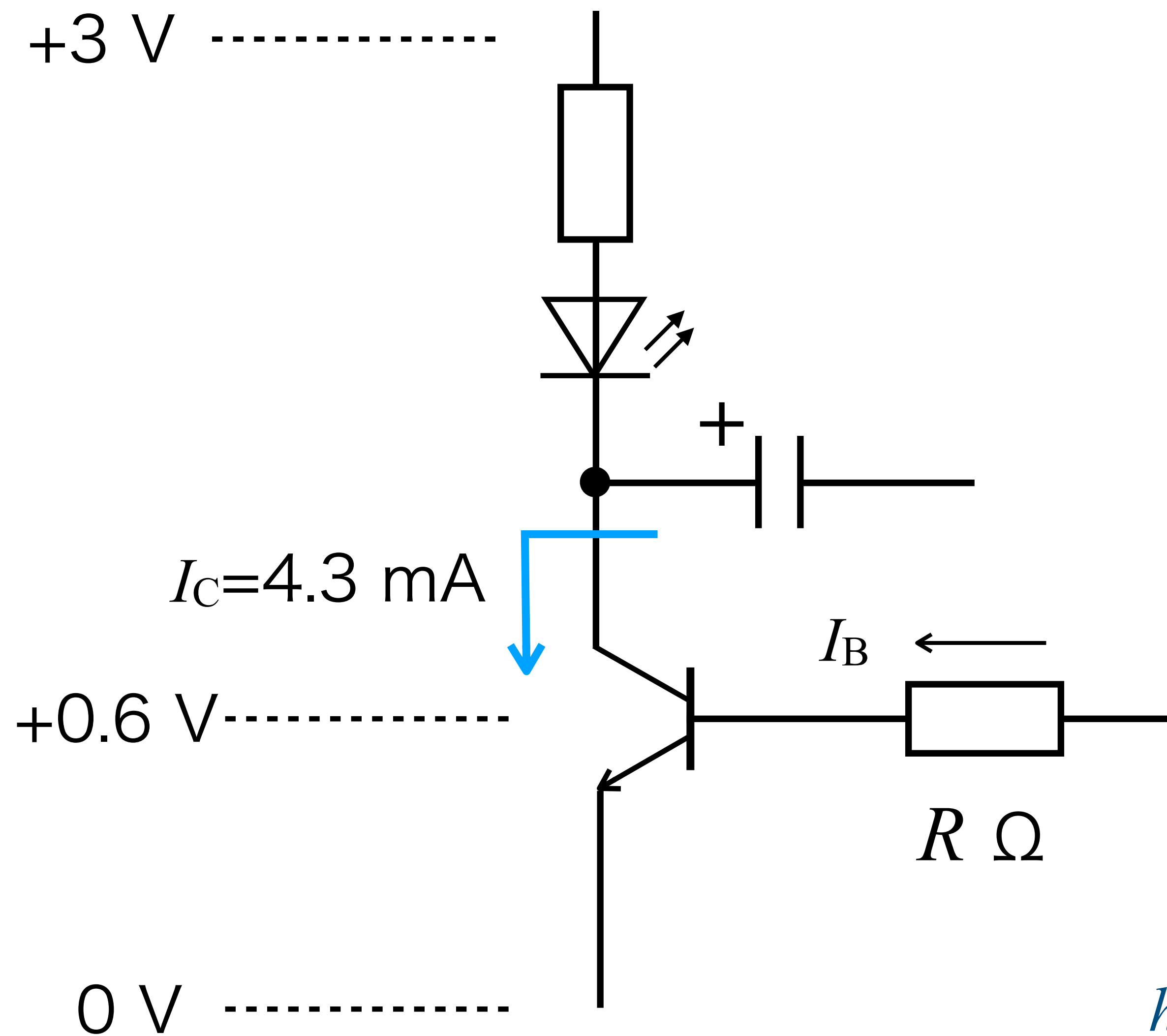
LEDの点灯と消灯



放電させるタイミングにトランジスタを使う



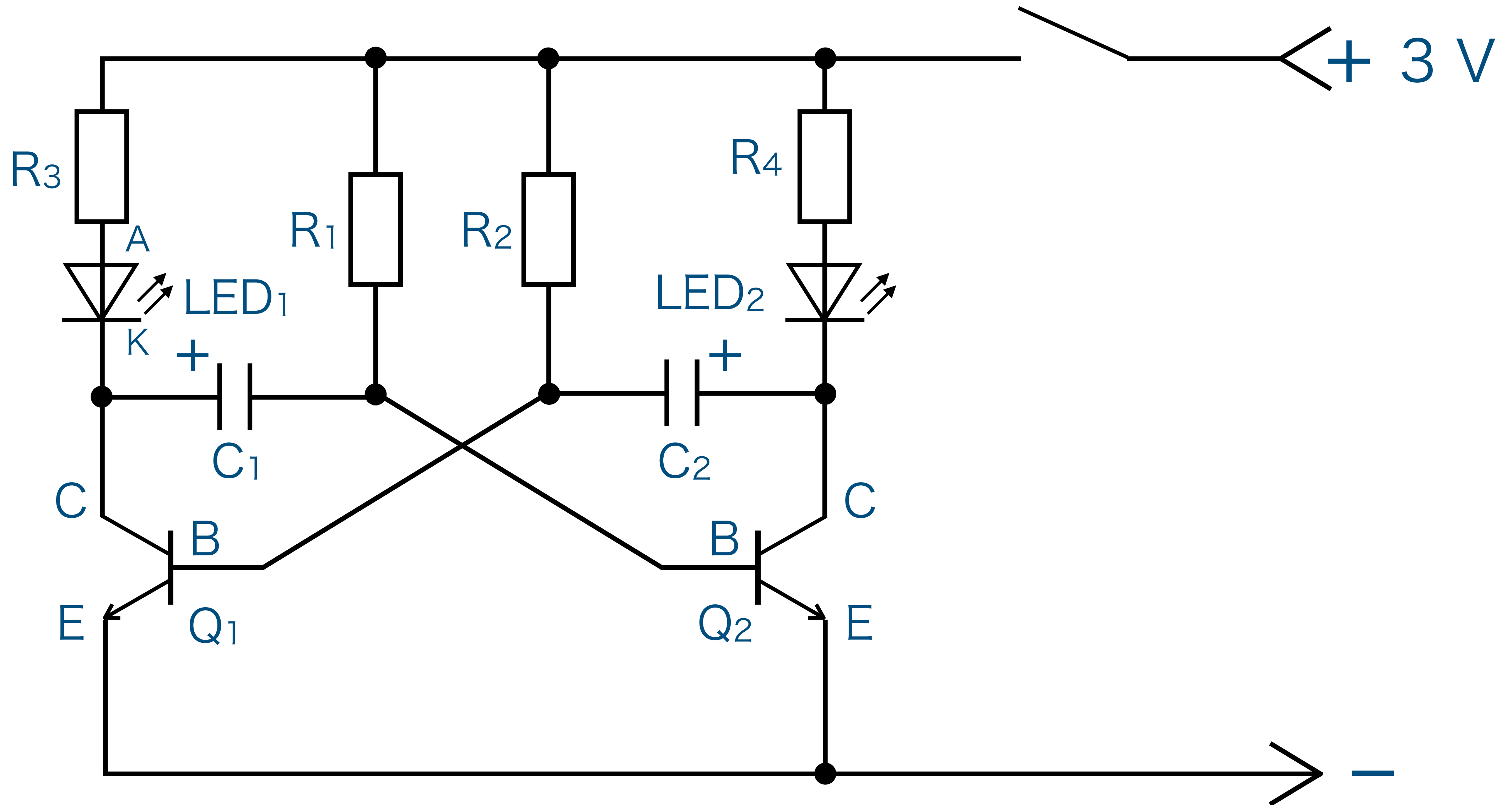
トランジスタをスイッチとして動作させる



$$R = \frac{3.0 - 0.6}{3 \times 0.0043 / 250} \approx 47 \text{ k}\Omega$$

$h_{FE} = I_C / I_B = 250$, 余裕をみて3倍で計算

LEDを交互に点滅させる回路の完成

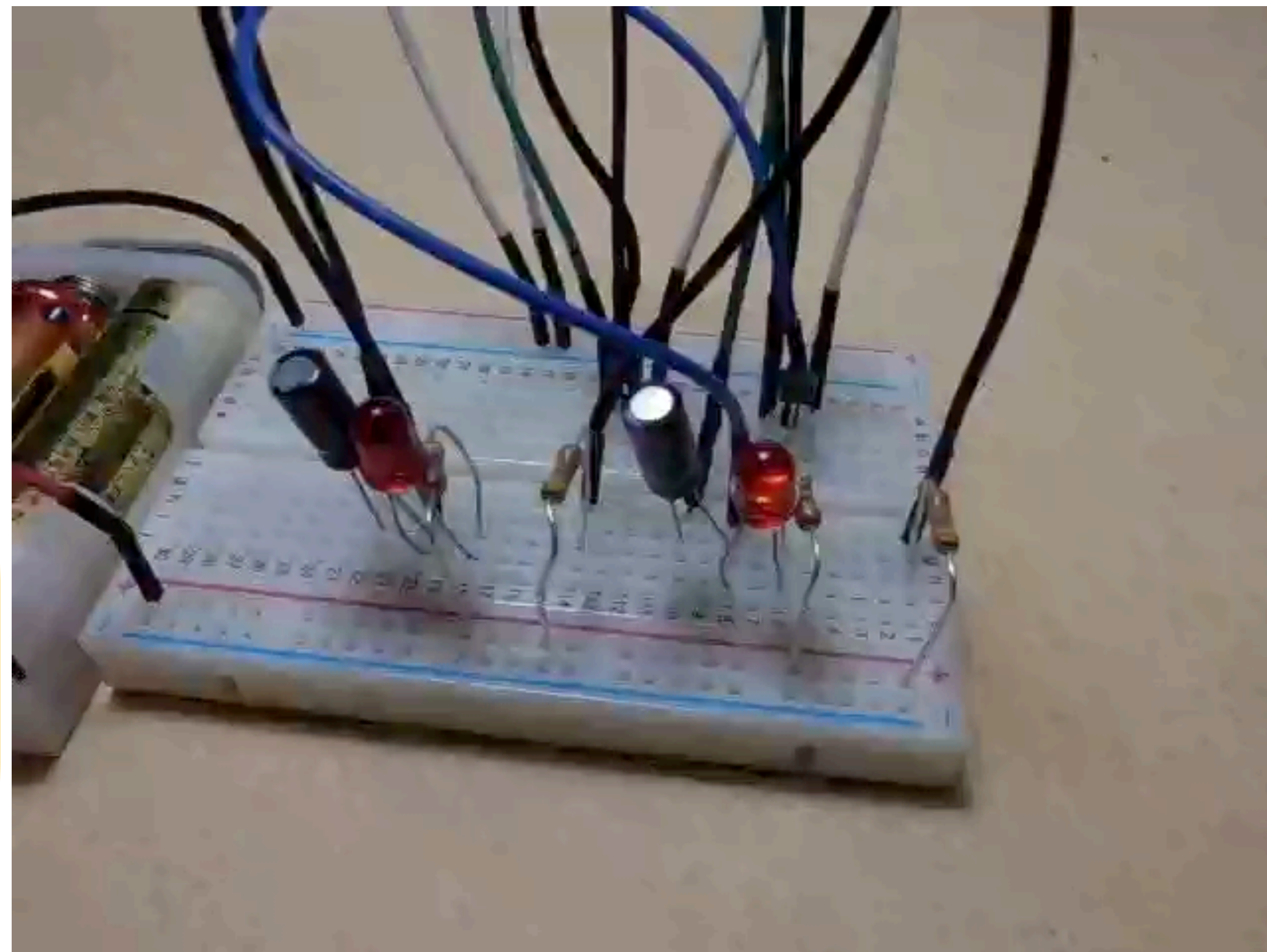
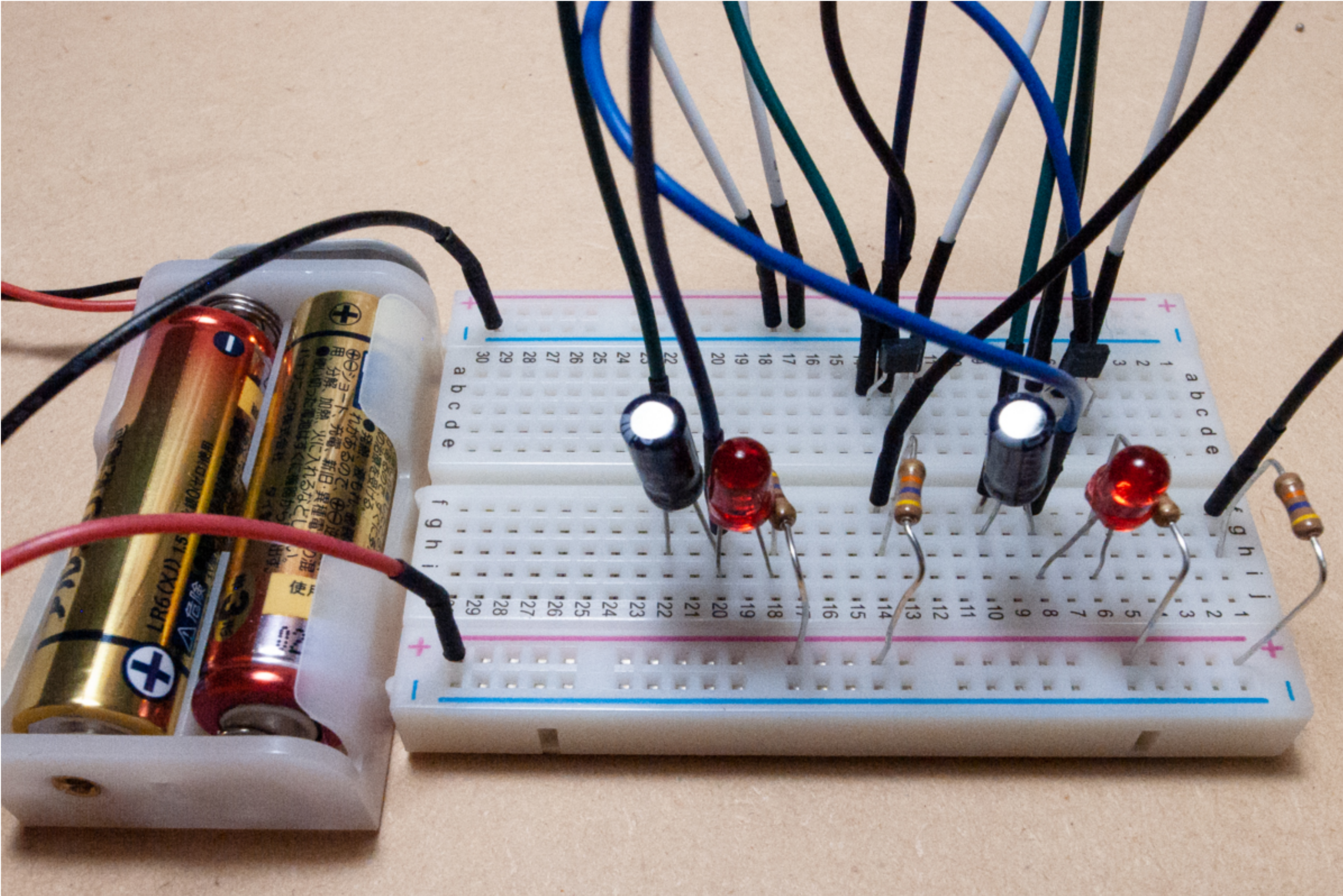


無安定（非安定）マルチバイブレータ（自走マルチバイブレータ）

確実に回路を組むための5ステップ

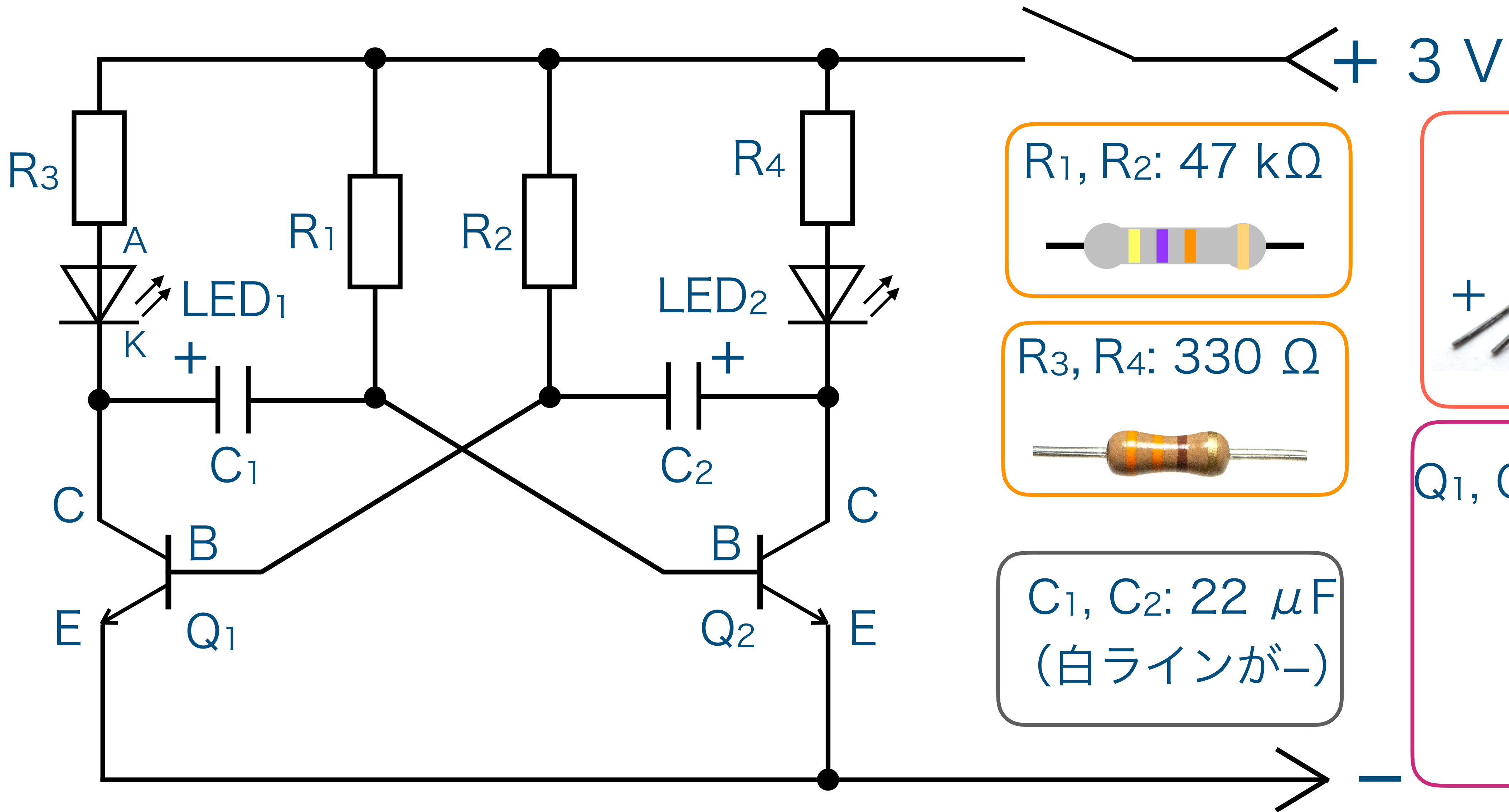
1	回路図を紙に書く.	大きく, はっきりと.
2	ブレッドボードの+は上側, -は下側を使う.	わかりやすく工夫する.
3	ブレッドボードに部品を挿す.	向きを正しく, 程よく間隔をあける.
4	ジャンパーワイヤーでつなぎ, 回路図の線を塗りつぶしていく.	1本ずつ確実に. "だるう"でやらない.
5	最後に確認する. (全てが正しく塗りつぶされたら回路図どおりの回路がブレッドボード上にできているはず)	他人では確認できない. 時間が経つと自分でも確認できない.

実際に製作した例



問い：最初にスイッチを入れた直後のその一瞬と、そのあとで、LEDの点滅の様子がどのようなになっているか良く観察してみよう。

ブレッドボードの上で組んでみよう！



$R_1, R_2: 47 \text{ k}\Omega$



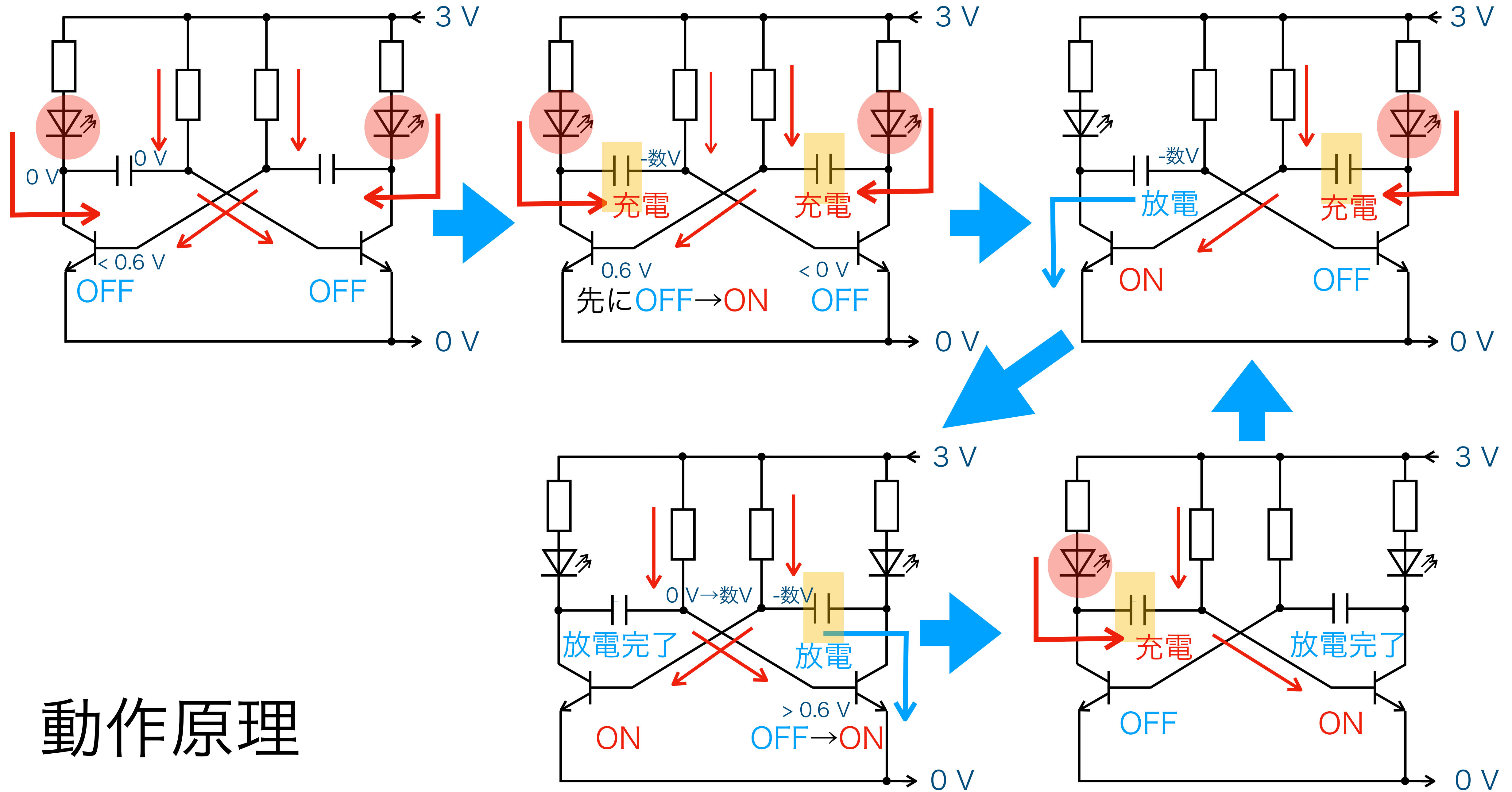
$R_3, R_4: 330 \Omega$

$Q_1, Q_2: 2\text{SC}1740$

E C B

$C_1, C_2: 22 \mu\text{F}$
(白ラインが-)

無安定 (非安定) マルチバイブレータ (自走マルチバイブレータ)



動作原理

おわり

本資料の主旨と補足説明

この資料は新入生の導入教育の一つとして作成したものです。ごく基本的なことを題材にし、「考える」ことを通してものごとを理解し、また安全な行動ができるようになるきっかけを与えるのが主眼です。電気の安全についても言及していますが、前述のような主旨であるため、ここに書かれていることだけで電気回路を使った作業の安全が保証されるわけではありません。作業をなさる際には、必要に応じて他の資料や書籍にもあたり、機器や工具を使う際には取扱説明書をよく読み、部品を使う際にはデータシートを必ず参照してください。また最初のうちは経験者の指導を受けることをお勧めします。