

第2章

パルス駆動、定電流駆動、 電流フィードバック駆動など

実験しながら理解する LEDの駆動方法

柳川 誠介
Seisuke Yanagawa

LEDを点灯することは、モータを回したり、信号を増幅したりすることより簡単だと考える人が多い。しかし、長時間、同じ輝度で点灯するためには、ほかの設計と同じくらいノウハウを必要とする。ここでは、抵抗でLEDを点灯させる回路からスタートし、そこで生じる問題をクリアしながら、いくつかの駆動回路を検討する。〈編集部〉

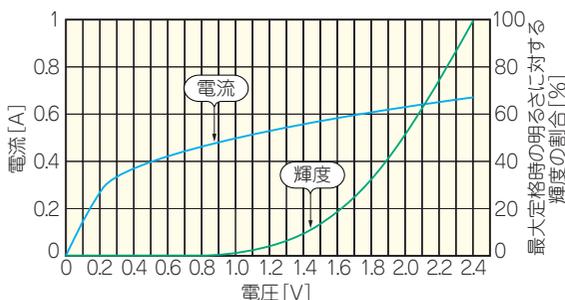
LEDはLight Emitting Diode(発光ダイオード)の略です。LEDランプと呼ばれることもありますが、フィラメントを利用した電球とは異なり、材質は半導体です。ダイオードには一方向だけに電流を通すという特性があり、プラスとマイナスを間違えると電流が流れず光りません。

● 電球との根本的な違い

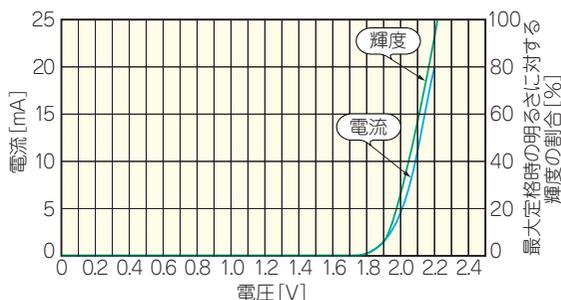
図2-1に豆電球とLEDとの違いを、電圧と電流の関係で示しました。電流の増え方が大きく異なります。電球の場合、電圧が低いときは電圧にほぼ比例して電流が増えていきますが、光るまで電圧を上げていくと電流はさほど増えません。これは電球のフィラメント(タングステン)が高温になるに従って抵抗値が増え、電流が抑えられるからです。

一方、LEDはある電圧に達するまで全く電流が流れません。そして、ある電圧以上になると急に明るくなります。明るくなる電圧はLEDの色により異なります。ここで示したグラフは黄色LEDの実測値です。LEDの明るさ(輝度)と電流値は高い精度で比例関係にあります。

マイナスの電圧(逆に接続されたときの端子電圧)をかけてみます。電球の場合、フィラメントの加熱は電流の方向とは関係ありませんから、プラスの電圧をかけたときと同じように光ります。LEDの場合



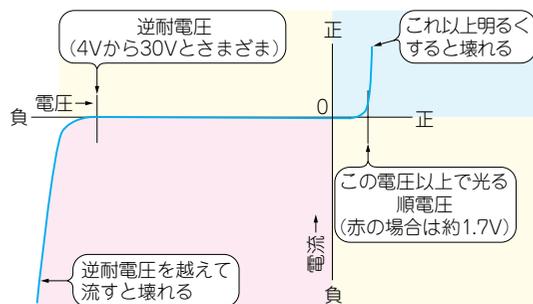
(a) 2.4Vの豆電球の発光特性



(b) 黄色LEDの発光特性

〈図2-1〉 豆電球とLEDの電圧による光り方の違い

LEDはある電圧に達するまで全く電流が流れない。



〈図2-2〉正負の電圧をLEDにかけたときの電流の流れ方
 プラス側の光り始める電圧を順方向電圧または順電圧という。

合、逆の電圧が低いうちは電流が流れませんが、電圧を上げていくと電流が急に流れるようになります。プラスの電圧をかけた場合と変化の様子は似ていますが、光は放出されず、さらに電圧を上げていくと破損します。

LEDの極性を間違えて接続し、光らないのでひっくり返したら光ったという経験は、皆さんにもあるかと思います。多くのLEDは数ボルト程度なら逆に接続しても壊れないようにできているので、そのような修正が平気のできるのです。なお、回路構成やLEDの定格によっては壊れる場合もあります。

図2-2にLEDに正負の電圧をかけたときの電流の流れ方を示します。プラス側の光り始める電圧を順方向電圧または順電圧といいます。順電圧は整流用ダイオードでは、順方向電圧降下と呼ぶこともあり、理想的にはゼロに近い電圧であるべきです。この順電圧は半導体の物性上は必要な電圧です。

順電圧は一般に、発光波長が短い製品ほど大きくなります。マイナス側の電流が流れ始める電圧を逆耐電圧または逆電圧といいます。この電圧に達しなくてもLEDには逆の電圧がかからないように使います。

● LEDを電源に直接つなぐとどうなるか

図2-1から分かるように、LEDを適切に点灯させる電圧の幅はごく狭いものです。与える電圧が0.1V違っただけで、2倍以上もの電流が流れる品種もあります。電池で点灯させる場合、電池が新しいうちは電圧が高すぎ、明るすぎて壊れてしまうか、寿命が短くなってしまいます。そして、電池がなくなってくると、急に暗くなってしまいます。交流電源に接続された電源装置を使っても、0.1V単位の電圧管理はそうたやすいことではありません。

さらに、LEDの温度が上昇すると順電圧は下がります。1℃当たり2mV下がりますから、50℃上がれば電源電圧を0.1V上げたのと同じ効果をもたらします。室温の場合、50℃もの上昇はそうあり得ないように思われます。しかし、LED内の半導体チップは米粒よりさらに小さく、そこに電流を流すのですから、いくら効率が良いとはいえ、チップの温度(接合部温度またはジャンクション温度と呼び T_j で表す)はたやすく上昇します。

都合が悪いことに、点灯とともに発生する熱が、さらに電流を増やすように働く結果、熱の発生と電流の増加がくり返され、定格を超えてしまうこともありえます(熱暴走)。LEDは工夫された駆動回路なしでは電源につなぐことはできません。LED本体およびその周辺回路の熱の発生をどう防ぎ、どう逃がすかは、パワーLEDでは特に重要です。

実験しながら作る駆動回路

● 抵抗1本…電流を制限することは可能

簡単ながら、最も広く使われているのが、LEDに直列に抵抗を入れる方法です。電圧が低い場合、流れる電流はごくわずかなので、LEDに加わる電圧は電源電圧よりちょっと下がるだけです。ところが電圧を上げていくと、0.1Vと少し電圧が上がらただけで電流は大幅に増えます。ということは、抵抗による電圧降下も大きくなります。従ってLEDに加わる電圧はそれほど大きくなり、電流の増加も抑えられます(図2-3)。この抵抗を電流制限抵抗と呼ぶことがあります。

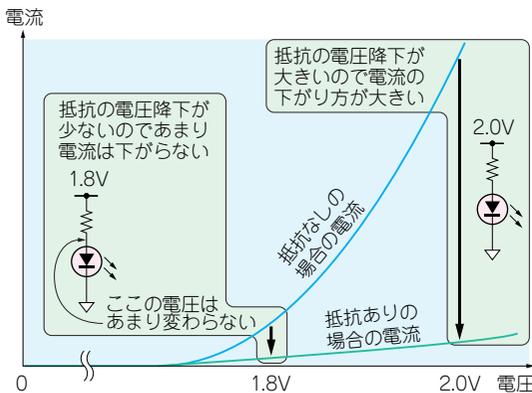
図2-4に抵抗なしの場合と抵抗ありの場合の電圧と電流の変化の実測値を示します。使用したLEDは赤色です。ここで分かるのは、LEDに加わる電圧(順電圧)の増加は、電流の増加に比べごくわずかだということです。最適な点灯時の電流に対する抵抗値を求めるには、順電圧を一定の値とみなして計算しても構いません。つまり、電源電圧をV、順方向電圧を V_F 、点灯時の最適電流を I_F とした場合、直列抵抗の値Rは、

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

で表されます。

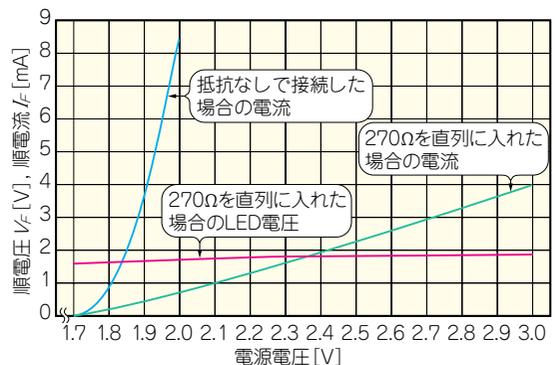
実際はこの式で求めた抵抗値ならばどれでも使えるわけではありません。例えば、電源としてリチウム電池を用い、青色発光ダイオードを点灯させる場合を考えてみましょう。V=3.6[V]、 $V_F=3.2$ [V]とすると、抵抗の電圧降下が0.4Vと低く、 I_F を4mAとした場合、抵抗値は100Ωにすぎません。このような電圧配分ですと、LEDの順方向電圧の変化が無視できなくなります。大げさに考えれば抵抗なしで電源に接続した場合とそう変わりません。

温度や電源電圧に対するLEDの明るさの変動をどの程度許容するかは一概にいえませんが、おおよそその目安としてLED 1個当たり1Vは欲しいところです。リチウム電池にLEDをつないで点灯する場



〈図2-3〉 LEDに直列に入れた抵抗の働き

抵抗を直列に入れるとLEDに加わる電圧はそれほど大きくなり、電流の増加も抑えられる。



〈図2-4〉 赤色LEDに270Ωを直列に接続したときの電圧と電流

LEDに加わる電圧(順電圧)の増加は、電流の増加に比べごくわずか。

合、抵抗を直列に入れて電流を制御する方法では、順方向電圧の低い赤や黄色のLEDでないとうまくいきません。

● 直列接続…各LEDに流れる電流は同じ

クリスマス・イルミネーションのように、複数個のLEDを用いる際は、直列にすると配線の手間が大幅に省けます。さらに電気的にも利点があります。LEDを直列にすれば、各LEDに流れる電流は同じですから、同じ種類のLEDを使っていれば原理的には同じ明るさになります。そして供給する電圧が高くなるので、12Vや24Vなどのカー・バッテリーやACアダプタなどが使えます。

LEDを直列につなげた場合の直列抵抗の値 R は次のように求めます。

$$R = \frac{V - (V_{F1} + V_{F2} + \dots + V_{Fn})}{I_F}$$

ただし、 V ：電源電圧 [V]、 I_F ：点灯時の最適電流 [A] とする。

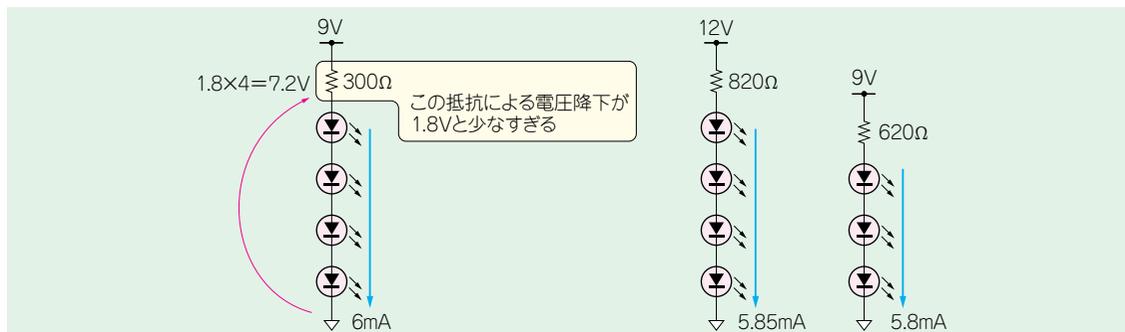
V_{F1} 、 V_{F2} … V_{Fn} は、接続するLEDの順方向電圧で、これらは必ずしも同じでなくても構いません。つまり、同じ電流値における明るさに大差なければ、赤、緑、青といったさまざまな発光色のLEDを混ぜて使えるのです。

注意する点は、抵抗による電圧降下の幅を十分に取ることです。前にも述べたように、LEDの内部の温度が 50°C 上がれば、電源電圧を 0.1V 上げたのと同じ効果をもたらします。この 0.1V という値はLED 1個当たりの変動値です。LEDを複数個直列にすれば、変動幅はその個数倍になります。

図2-5(a)の場合、抵抗による電圧降下はLED 1個当たり 0.45V しかありませんが、図2-5(b)のように電源電圧や直列にする個数を変えれば、 1.2V と大きく取ることができるので安定度が増します。

● 並列接続…LEDごとに電流を管理する

LEDを並列にして点灯する場合、個別に電流を管理する必要があります。LEDの色が異なる場合はもちろん、同じ色のLED間でも順電圧にばらつきがあるからです。図2-6(a)のように、単に並列に接続すると、ちょうど水が高い方から低い方に流れるように、順電圧が低い方へ電流が偏ります。

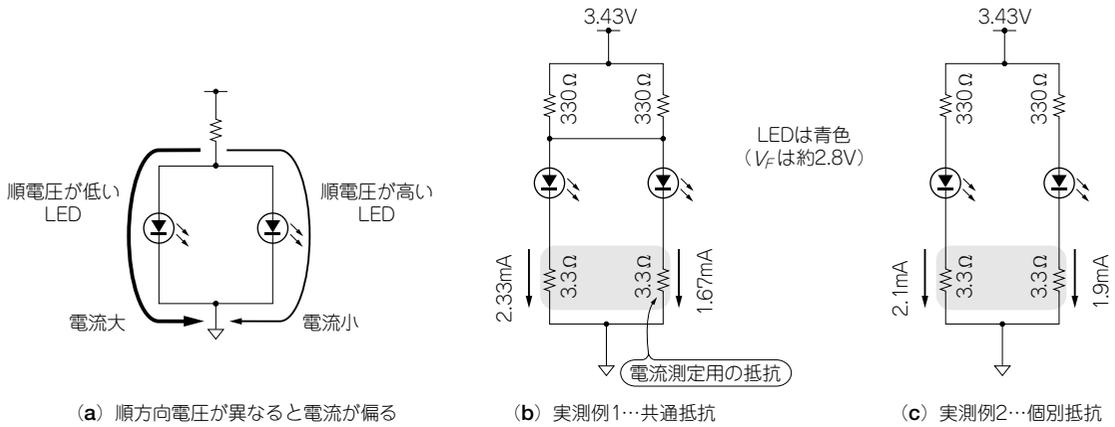


(a) I_F の変動に対する余裕がない回路

(b) (a)よりは余裕のある回路

〈図2-5〉 LEDを直列に接続したときは電圧配分に注意

(a)の場合、抵抗による電圧降下はLED 1個当たり 0.45V しかない。(b)のように電源電圧や直列にする個数を変えれば、抵抗による電圧降下を 1.2V と大きく取ることができるため安定度が増す。



〈図2-6〉 LEDを単純に並列接続すると電流の偏りが生じる

(b)は単に並列にした状態で、左側のLEDに流れる電流がもう一方より1.4倍多くなっている。このくらい電流の差があると、目で見ても明るさの違いが分かる。

図2-6(b)と図2-6(c)は実際に測定した例です。10個の青色LEDの輝度を測ったとき、最も明るいものと最も暗いものを並列にして電流を測りました。電流計をそれぞれに入れると、電流計内部の電圧降下が無視できなかつたり電流計ごとに違ったりするので、それぞれに直列に抵抗を入れ、両端の電圧から電流値を求めました。抵抗値は電圧降下が無視できるように3.3Ωと小さくしてあります。

図2-6(b)は単に並列にした状態で、図の左側のLEDに流れる電流がもう一方より1.4倍多くなっています。このくらい電流の差があると、目で見ても明るさの違いが分かります。

図2-6(c)のようにそれぞれに抵抗を入れると、電流は均衡していき、明るさの違いをほとんど感じなくなります。

● 電源電圧や順電圧の変化に強い定電流駆動

前項のドライブ回路の設計では、順電圧 V_F を一定とみなしてもよいと仮定しました。仮定の前提として、抵抗の電圧降下がLEDの順電圧および電源電圧の変動幅より十分大きいこととしています。しかし、抵抗値が小さい場合や電源電圧の変動幅が大きいときは、この仮定が成り立たず、LEDの電流が大幅に変化し、それに伴って明るさも変動します。

理想に近づけるには、抵抗値を大きくしていけばよいのですが、その分、電源電圧も高くせざるを得ず、限界があります。安定して光らせるには電源電圧や順電圧がどう変化しても、LEDに流れる電流が変わらなければよいのです。そこで、定電流駆動回路を検討します。

▶ 抵抗とトランジスタ

定電流駆動回路にはいろいろな方式があります。今回は図2-7(a)の回路を使いました。部品が容易に入手できるからです(写真2-1)。主な電流の経路は Tr_1 と R_2 です。 R_2 は電流検出用の抵抗で、ここに電流が流れると Tr_2 のベース-エミッタ間電圧が上昇していきます。トランジスタの性質により0.6V以上になると、 Tr_2 のコレクタ-エミッタ間が導通状態に近くなり、 Tr_1 のベース電圧を下げます。その結果、 Tr_1 のコレクタ-エミッタ間は非導通状態に近くなり、 R_2 に流れる電流が下がります。この相反する動作がバランスして R_2 の両端の電圧は一定に保たれます。設定電流を I とすると、