

## 波動実験用 LED ストロボの製作

聖光学院中学校・高等学校教諭 北村 俊樹

### 1. はじめに

さまざまな物理現象をマルチストロボを使い同期させて生徒に提示すると、生徒は非常に興味を示す。しかし従来のクセノン(キセノン)管式のマルチストロボは光量の点では優れているが、高価かつ大型であり生徒実験に使いにくい。この観点から、北村は1992年に大型LEDを使った生徒実験用簡易小型ストロボ<sup>1)</sup>、発振装置を伴った生徒実験用LEDストロボ<sup>2)</sup>を開発した。これらは、LEDを利用した手軽で安価なストロボであったが、当時の高輝度大型LEDを4個使っても光量は十分ではなかった。

光量の解決のために、最近の高輝度白色LEDを使い、駆動方法を改良することで、①高輝度白色LEDと簡単な回路による生徒実験用小型ストロボ、と②高輝度白色LEDとパソコン、増幅器付きスピーカーを用いた演示実験用ストロボの2点を開発した。ともに、簡単かつ安価に製作でき、また、水波や弦の振動など波動実験用に十分な光量が得られる。

## 2. LED ストロボの製作

### 2.1. LED ストロボの動作原理と特徴

高校物理でのマルチストロボの使い方としては、

- ① 落下運動のような1回限りの運動をとびとびの像として観察する場合
- ② 水波の干渉や弦の定常波など周期的な運動を擬似的に止めた状態で観察する場合

の2つが主な用途である。

後者の②では発光間隔を運動体の振動周期に同期させ、見かけ上で静止させたり、同期をわずかにずらしてゆっくり動かし見せたりすることで、速い現象を見やすく表示する。これは、水波や弦の振動など数Hz～数百Hz程度の低速な運動の観察によく用いられる。

この比較的低速な運動で、数 $\mu$ sという発光時間が短いが高輝度のクセノン管の代わりに、光量では劣る白色LEDを数msだけ点灯させると、クセノン管と同様に運動を静止させて観察できる。これが、

白色LEDを使ったマルチストロボの原理である。

LEDはクセノン管に比べ光量が小さいが、入力信号に対する発光応答性がよい。LEDに方形波信号を入れれば、信号H(信号あり、例:5V)で点灯、信号L(信号なし、例:0V)で消灯し、マルチストロボとして利用できる。この際、発光(点灯)時間と消灯時間の割合が重要である。1周期分に占める発光時間は方形波のデューティ比に対応する。LEDストロボでは、デューティ比を小さくすると現象が鮮明に見えるが、光量が小さくなって見にくくなる。今回は、観察する対象を数百Hz以下の波動現象に限ったので、光量と像の鮮明度を両立させる条件として、デューティ比を5%～15%程度にした。これくらい大きくとっても実用上十分である。

LED利用ストロボは制御回路も簡単で、乾電池でも駆動できる。また、安価であり、光量はLEDの数を増設することで増やせるなどの利点を持つ。

### 2.2. LED 光源部

以下に示す2つのタイプのLED光源部と2.3.に示す3つのタイプの駆動回路を組み合わせることでLEDストロボとする。白色LEDでは動作電圧が3～4V必要であり、また電流制限抵抗が必要である。今回はパルス駆動であるのと、光量を確保することから電流制限抵抗を使用していない。

#### (1) 照射角 15°, 25 cd の白色 LED 16 個の光源

秋月電子通商の砲弾型白色LED OSPW5111A-YZ(照射角 15°, 光度 25 cd, 駆動電流 20 mA, 価格 100 円)16 個をプリント基板上に並べたものである(図1)。

電源が006P(9V形乾電池)のときは、LEDを2個直列にしたものを8列並列にして使い、ラジカセ駆動や増幅器付きスピーカー駆動の場合は、出力電圧が小さいため16個のLEDを並列にして使う。光度(明るさ)は25 cdと明るい照射角が15°とせまい。

#### (2) Luxeon 1W の白色 LED 2 個の光源

アメリカのLumileds社のLuxeonシリーズの

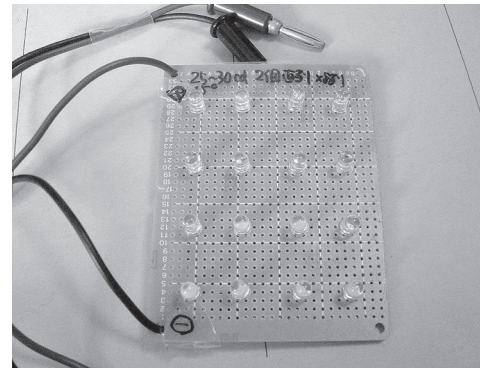


図1 照射角 15°, 25 cd 白色 LED 16 個

1Wの白色パワーLED(LXHL-NEW8, またはLXHL-MW1D)にレンズを付けたもの、消費電力1W、駆動電流350mA、45lm、価格1000～2000円)を2個並べたものである(図2, 3)。

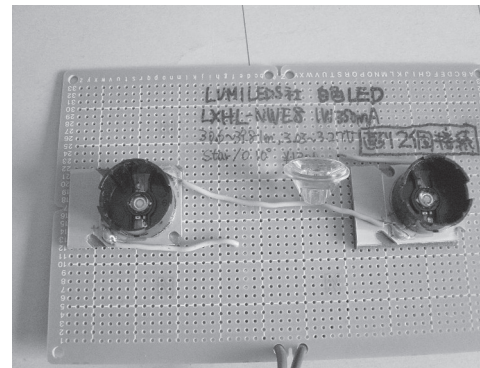


図2 レンズを外した1W白色LED

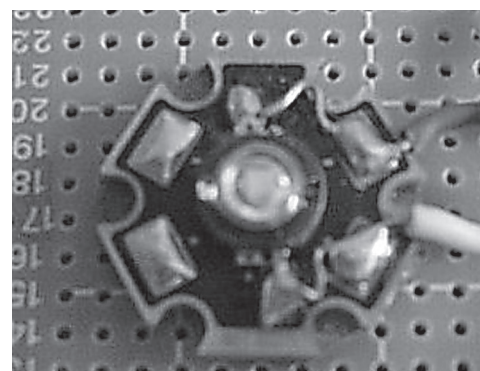


図3 1W白色LED拡大図

2個の並べ方は、専用駆動回路2.3.の(1)や(2)では2個直列にして使い、(3)のラジカセや増幅器付きスピーカーの場合は出力電圧が小さいため2個並列にして使う。レンズを付けた場合(照射角10°)は局所の観察用に、レンズなしの場合(照射角140°)

は広範囲にわたる観察用に用いる。市販のマルチストロボに比べ光量は落ちるが照射範囲はきわめて広い。レンズを付けた場合では、ストロボ作動状態でも3m離れた地点においてLED1個で本が読める。

### 2.3. 駆動回路

#### (1) 単体の小型マルチストロボ用駆動回路

「LEDを使った生徒用小型ストロボ装置」<sup>1)</sup>の回路を改良し駆動電流を上げたものである(図4)。

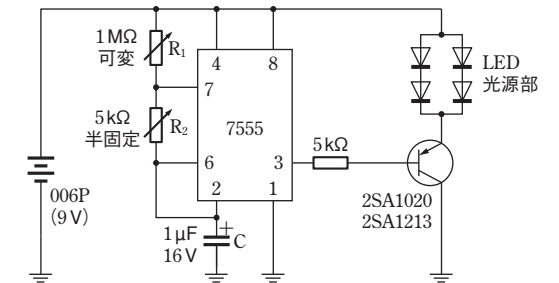


図4 小型マルチストロボ用駆動回路

タイマー用ICのICM7555(NE555のCMOS版)をRC発振させてストロボ駆動信号をつくる。電源にはアルカリ006P電池を使う。ストロボ発光時間 $t_1$ は半固定抵抗 $R_2$ (抵抗値 $R_2$ )で設定し、発光周期 $T$ は主に可変抵抗 $R_1$ (抵抗値 $R_1$ )で調節する。

$$\text{発光時間 } t_1 = 0.693R_2C$$

$$\text{発光周期 } T = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

このとき、デューティ比 $\frac{t_1}{T}$ が15%以下になる

ように $R_1$ と $R_2$ で調節する。図5は、4個のLEDを本回路に付けた簡易マルチストロボで、簡単な生徒実験に使える光量がある。



図5 白色LED4個の小型マルチストロボ



(2) 正弦波外部入力型の LED 駆動回路

学校にある低周波発振器からの信号を用い、デューティ比可変の LED 駆動電流を得る回路である(図 6)。正弦波、三角波、のこぎり波などの信号から、LM393 で入力波形に対する閾値を設定し、それ以上を H、未満を L として、入力波形から方形波を得る回路である。

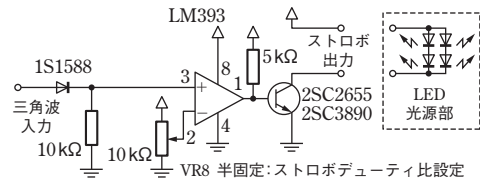


図 6 正弦波外部入力型の LED 駆動回路

(3) パソコンを利用した簡単な LED 駆動法

Windows パソコンのサウンドカードを制御して、デューティ比の小さいストロボ駆動用方形波をつくる。この信号をラジカセや増幅器付きスピーカーで増幅し、LED ストロボの駆動信号とする。この方法は、パソコンさえ用意できれば、特別な回路を製作しなくとも手軽にマルチストロボが実現できる。

制御ソフトは LED ストロボ駆動用ソフト「きらきら」<sup>3)</sup> または理科ねっとわーくで公開されているファンクションジェネレーターソフト「発音」<sup>4)</sup> を使う。次に、パソコンの音声出力(ステレオ出力の左チャンネル出力)をラジカセやパソコン用の増幅器付きスピーカー(数千円程度から入手可能)の入力に接続し、信号を増幅する。さらに、これらのスピーカー出力(増幅器付きスピーカーではスピーカーを切り離す)に直接 LED 光源部を接続する。これでマルチストロボとなる。



図 7 パソコンとスピーカー利用のマルチストロボ(増幅器付きスピーカーに 1W 白色 LED とスピーカー利用水波用波源を接続する)

回路製作の場合に比べ、周波数制御はソフトで行うので、周波数が正確でかつ周波数安定度もよい。

このとき、増幅器の出力は数 W 以上が必要である。また、出力が足りない場合は、LED を直列 2 個接続ではなく、並列接続にするとよい。増幅器のボリュームを調節して点滅するように設定する。

ソフトについては、「きらきら」はデューティ比を 15% 以下に設定し、「発音」では「波形設定」で方形波 3 のデューティ比が低い波形を選ぶ。

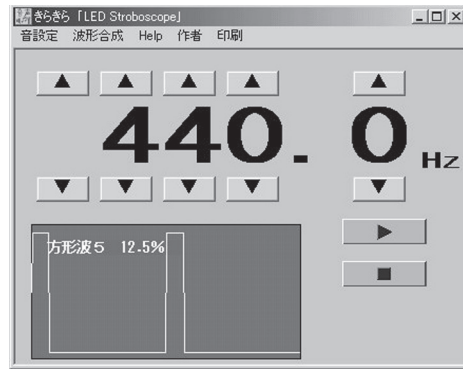


図 8 LED ストロボ駆動用ソフト「きらきら」

さらに、「きらきら」では、波動を完全同期して静止した形で観測することができる。「きらきら」の右チャンネル出力は、波動実験用の正弦波信号なので、ここに図 9 のような水波用や弦用の波源を取り付けたスピーカーを接続する。右チャンネルのスピーカーで波動現象を発生させ、左チャンネルの白色 LED で照らすと、完全に同期して静止した状態で水波や弦の振動を観察できる。ソフトで、左チャンネルと右チャンネルの振動数もずらせるので、水波や弦の振動を同期をずらしゆっくりと見せることも可能である。



図 9 水波用波源および弦用波源とスピーカー

3. 実験例

3.1. 水波の観察実験

水波の実験は、透明なアクリル製水槽に水を 1 cm 程入れ、水槽の下に白い紙をしき、LED ストロボの光を上から当てる。紙の上に映った水波の投影像を上から観察する。図 11 は、図 10 の 1W 白色 LED と図 6 の駆動回路を組み合わせたマルチストロボによる水波の投影像である。投影像は点光源の方が見やすいため、LED 1 個のみで照射した。

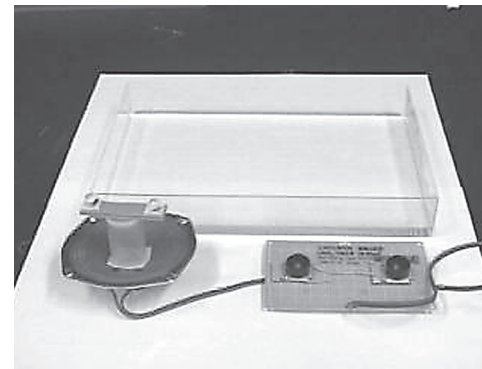


図 10 水波用実験装置と 1W 白色 LED



図 11 2つの波源による水波の干渉像

3.2. 弦の定常波の観察実験

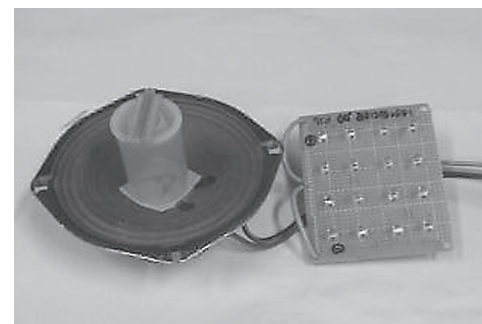


図 12 弦用振動源付きスピーカーと LED 16 個の光源部

図 12 のようにフィルムケースの上に弦の振動用の棒を取り付け振動源とする。低周波発振器にスピーカーを接続し、LED ストロボを照射して観察する。

図 13 は弦の振動にストロボ光を当ててデジタルカメラで撮影した写真である。写真では弦がやぶれているが、目の観察ではぶれは気にならない。弦の定常波では同期による静止像のほか、少し同期をずらして、弦がゆっくりと振動する様子を観察する。

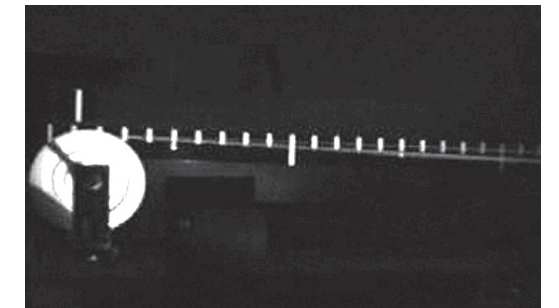


図 13 弦の定常波のストロボ像

4. おわりに

安価で光量の大きい白色 LED が利用できるようになり、LED を用いたマルチストロボを作ることができた。また、パソコンソフトとラジカセなどを使い、半田付けの作業なしで簡単にマルチストロボを作ることができるようになった。

マルチストロボが簡単に使えることで、従来、演示実験で行っていた項目を、生徒実験で行うことができるようになる。光量の点で、クセノン管式マルチストロボにはまだ及ばないが、水波の実験や弦の定常波の観察には十分有効である。この LED ストロボを多くの方に使っていただければ幸いである。

参考文献

- 1) 北村俊樹:「LED を使った生徒用小型ストロボ装置」物理教育 No.40-3(1992)p.208
- 2) 北村俊樹:「生徒用多目的波動実験装置の開発」物理教育 No.40-4(1992)p.253
- 3) 北村 WEB サイト:たまきち's HomePage <http://www.bekkoame.ne.jp/~kitamura/>  
e-mail:PDF02120@nifty.ne.jp
- 4) 理科ねっとわーく <http://www.rikanet.jst.go.jp/>  
ソフト「発音」は上のサイト内のデジタルコンテンツの「映像と音声分析・合成ソフトで学ぶ『音・波動教育用デジタル教材』」(北村監修)の中にあります。