

ブレッドボードを用いた光通信実験の回路工作授業

奥野 剛史 電気通信大学 情報理工学域 182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1
 菅野 敦史 情報通信研究機構 184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1

1. はじめに

音の情報を光にのせて、空間を伝わる光を検出した先でスピーカーから音を鳴らすという送受信の実験は、光通信実験装置などとして、演習実験や電気回路工作の題材としてはよく知られている^{1)~4)}。本稿では、50人程度の多人数の受講者が、メロディー IC や太陽電池などの汎用の回路部品を用いて1時間程度で組み上げることのできる光送受信実験回路を記す。1セット1000円未満で準備工作は不要のこの回路を用いた実験講座の実践を報告する。また、トランジスタ増幅のごく簡単な回路動作も議論する。

光通信実験では、20 Hz から 20 kHz 程度の人の可聴音の周波数で光を点滅させ、その点滅を光検出器で受けてスピーカーを鳴らす。音源とスピーカーとは電線でつながっておらず、また、光をさえぎると音が止まるため、子供を含めた一般向けにも印象を強く与えられる。通信、光、音、発光ダイオード (LED)、光ファイバーなどと結びつけた講座に用いられている⁴⁾。しかし、音源や光源の準備と必要な回路工作を考えると、演習はできても受講者本人が工作する講座の題材にはしにくかったのではないと思われる。今回の回路は、多人数の受講者が、普通の教室で100 V 電源を必要とせず光の送信および受信の回路を短時間に一から工作できる。

表1 光通信実験装置の1セット。価格は秋月電子通商による概算。

ブレッドボード	120円
単4電池 2個	40円
電池ボックス単4	50円
3端子メロディー IC (UM-66T)	30円
1kΩ	1円
51Ω 4個	4円
白LED (OSWT3166B)	10円
ダイナミックスピーカー 8Ω	100円
ワイヤ6本	22円
クリップ付きワイヤ2本	70円
太陽電池 SY-M 0.5 W	300円
イヤホン (100円ショップ)	108円
トランジスタ 2SC1815Y	8円

2. 光情報発信器

まず表1に、本稿で用いた部品の一覧を例として示す。そして、講座で実際に作製した光情報発信器の回路図を図1に、実物の写真を図2に示す。

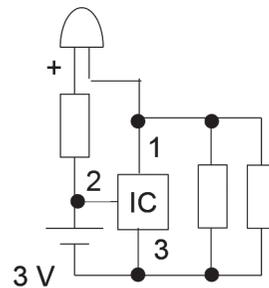


図1 メロディー IC を用いた光情報発信器の回路図の例。抵抗はいずれも 51Ω。

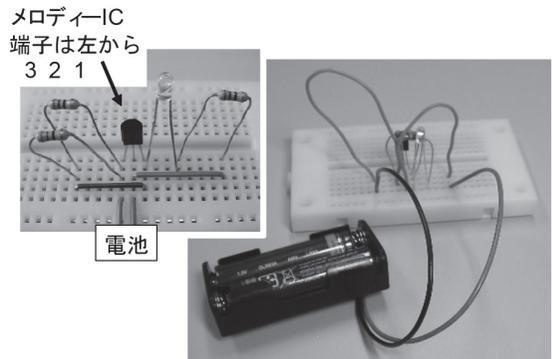


図2 光情報発信器。メロディー IC 周囲の写真は回路図との対応をみやすくしたものの。

音源は3端子のメロディー IC を用いた。出力端子1にスピーカーをつないでおくと、3Vの電源を加えることにより記憶されているメロディーが連続してながれる。工作のはじめには、電源とスピーカーと抵抗(1kΩ程度)を接続して、メロディーが聞こえることを受講者の皆に確認してもらった。そして出力端子に、図1のように、スピーカーのかわりに適当な抵抗とLEDを接続することにより、メロディーの周波数でLEDが点滅する

ことになる。端子 1, 3 間の並列抵抗はなくてもよいが、入れると LED の輝度がすこし上がる。

3. イヤホンを用いた光情報受信器

次に、LED の光を検出する光情報受信器を工作する。小学校 4 年生の理科の授業で扱うような太陽電池を用いた。表 1 のものも含めて 4 種の太陽電池で試してみたが、いずれも同じように使うことができた。まず、図 3 のように太陽電池と 8 Ω のスピーカーを直結して、図 1 の光情報発信器の LED で太陽電池をてらしてみる（図中で太陽電池や LED の回路記号は正式なものではないが、読者に直観的にわかりやすい記号を用いている）。耳をスピーカーにくっつけるくらいにすると、静かな部屋ではメロディーがたしかに聞こえる。しかし、多人数が回路工作をしている教室ではざわついており音を聞くことができない場合がほとんどであった。光情報受信器としては不適切なものだと思われる。

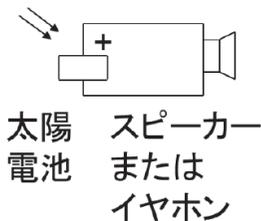


図 3 スピーカーまたはイヤホンを用いた簡易光情報受信器の概略

最近では 100 円ショップでイヤホンを買う。スピーカーのかわりにイヤホンを用いると、はっきりと音を聞くことができ光情報受信器となる。みのむしクリップ付きワイヤ 2 本で太陽電池とイヤホンとを直結し、太陽電池を光情報発信器の LED でてらすと、ふつうの音量でメロディーを聞くことができる。用いたイヤホンの抵抗値を測定すると 17 Ω であった。

ここまでであれば、回路工作の実験作業としては少し物足りないくらいの場合もある。また、やはりスピーカーから普通の音量で音を鳴らす方がよいようにも思われる。そこで、次節のようにトランジスタを用いて増幅する光情報受信器を作製した。

4. トランジスタを用いた光情報受信器

図 4 にトランジスタと太陽電池を用いた光情報受信器の回路図を示す。太陽電池で光を受け、トランジスタで増幅してスピーカーを鳴らす。図 5 は、スピーカー、太陽電池、ブレッドボード、および電池からなる光情報

受信器および光情報発信器である。太陽電池を手でもって LED にかざすと、メロディー IC の音が十分な音量で聞こえる。トランジスタとしては、一般的な npn バイポーラトランジスタのひとつ 2SC1815Y (Toshiba) を用いた。

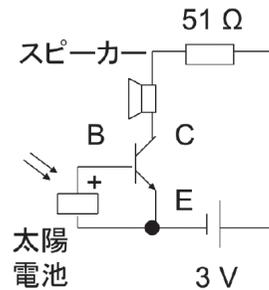


図 4 トランジスタを用いた光情報受信器。トランジスタの端子は、ベース (B)、コレクタ (C) およびエミッタ (E)。

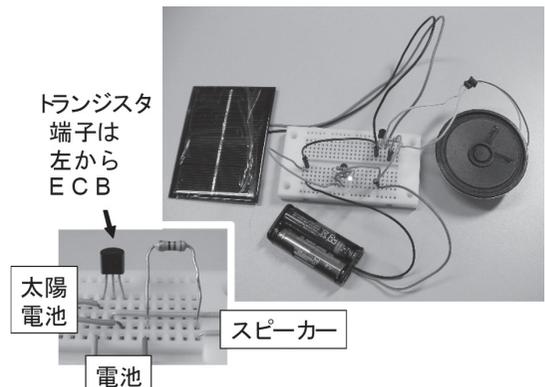


図 5 製作した光情報受信器。左が太陽電池、右がスピーカー。ブレッドボードの下半分は図 2 と同じ光情報発信器。トランジスタ周囲の写真は回路図との対応をみやすくしたもの。

5. トランジスタによる増幅

本節では、図 4 のトランジスタ回路について、光情報発信器の LED で太陽電池をてらしているときの動作を考察する。測定値やそれを用いた計算値は、有効数字が 1 から 2 桁程度の概算値である。はじめに、太陽電池とスピーカーを直結した場合の回路の動作をみってみる。図 3 の回路にデジタルマルチメータ (Keithley 2000) を直列に挿入して、LED の照射によって流れる電流を測定すると、5 μA であった。出力は 0.2 nW になる。流れる電流が小さいため、オシロスコープ (Tektronix TDS220) を使っては音の周波数の波形を表示することはできていない。

図6は、図4の太陽電池の両端電圧をオシロスコープで測定したものである。窓からの太陽光によって生じている0.7 Vのバイアス電圧の上に、振幅15 mV、周波数650 Hzの音の信号がのっている。音は高いミの音(660 Hz)に近い。0.7 Vのときのベース端子の入力インピーダンスを実測すると1.6 k Ω であった。トランジスタに入力されている交流のベース電流は9 μ Aと計算できる。そして図4の51 Ω の抵抗の両端電圧の交流成分をオシロスコープで測定したものが図7である。ただし、図6とは測定のタイミングは異なるので、メロディーICの曲は進行して音の周波数は異なっている。図7では振幅100 mVの信号が得られている。スピーカーを流れる電流が2 mAと求められ、8 Ω のスピーカーでの出力は32 μ Wと計算できる。トランジスタによって、ベース電流の9 μ Aが、コレクタ電流の2 mAに増幅されている。増幅率は200であり、トランジスタの特性表どおりの値となっている。

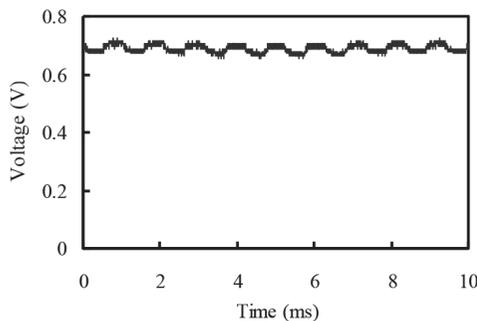


図6 図4の光情報受信器の太陽電池の両端電圧

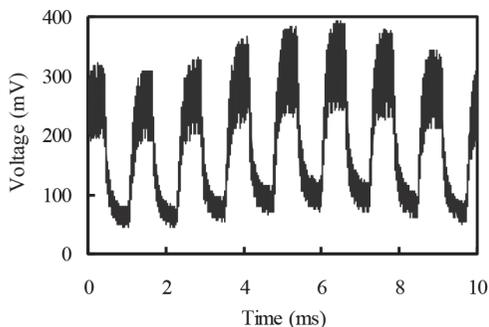


図7 図4の光情報受信器の抵抗の両端電圧

トランジスタで増幅回路を組む際には、ベースに入力する小さい交流の振幅が0.6 ~ 0.7 V程度の直流のバイアス電圧の上ののっている必要がある。図4の回路の太陽電池の出力には、音の周波数の交流成分に加えて、部

屋の明かりによる直流成分が0.7 V程度ある。これにより、トランジスタによる増幅がうまく動作する。暗い場所で十分なバイアス電圧が太陽電池から出ていない場合には、LEDの光だけを太陽電池にあてても音はならない。

6. スピーカーと回路部品

永久磁石の使われているダイナミックスピーカーのかわりに、より安くて(例えば30円)軽く、ブレッドボードに直接さすことのできる圧電セラミックスピーカーを使うのは、インピーダンスが大きいために現時点でうまくいっていない。メロディーICの出力に圧電スピーカーを直接つなぐと、十分な音量で音が鳴る。しかし、LEDの光を太陽電池で受けたのでは電力が不足して聞こえない。LEDを並列に数個入れて光量を増やすと、図3の光情報受信器にてかすかに音が聞こえる程度であった。図4の増幅回路については、トランジスタを2個用いて2段増幅した場合に、ごく小さな音量で聞こえる場合があった。トランジスタを3個用いても改善はされず、そもそもトランジスタを複数用いるのは、講座に用いる回路工作としては難易度が高すぎると思われる。

増幅回路としては、スピーカーを図4のようにCと51 Ω の間に入れるのではなく、CとEにつなぐ方法もある。ダイナミックスピーカーをCとEにつないだ回路でも、太陽電池をLEDに近づけると音がよく聞こえる。しかし、太陽電池に光をまったくあてなくてもかすかに音が鳴ってしまった。表1や図4では部品点数を少なくするために、光情報発信器の3V電源をトランジスタの電源にも流用している。トランジスタに加わる電源電圧が音の周波数でわずかに変化しているのが原因である。

本稿で紹介した受講者が作る回路工作に関しては、必要な下工作はほとんど皆無である。太陽電池からのワイヤがブレッドボードには挿しにくいので、挿す前に指でよるように等の指示が必要な部分はあった。50人分の回路部品は、一人で電車で持って行ける程度の量である。

7. 講座の題材

ひとりまたはペアに1個の回路工作を終えた後、演示実験としては、100 V電源で動作するアクティブスピーカーを用いた。デスクトップパソコン等に接続して使うスピーカーと太陽電池の出力をつなぐと、教室全体に聞こえる音でメロディーICを鳴らすことができる。そして、LEDの光を、1 m程度のプラスチック製光ファイバー(価格は1000円弱であった)を通して太陽電池に導き曲を鳴らすことができる。また、異なる曲のメロディーICからのLEDを同時に太陽電池にかざすと、2曲が重なっ

て聞こえる。発光ダイオードの色を違えておくと光ファイバー通信で利用されている波長多重通信になる。太陽電池の前に適する色セロファンをかざしてひとつの色にのっている音だけを検出すると、波長多重通信の選択的検出が可能である⁴⁾。

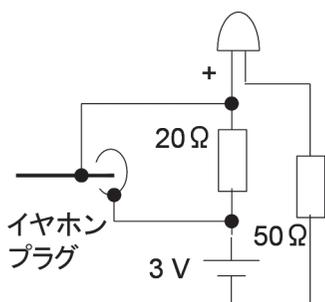


図8 イヤホンプラグからLED点滅への変換器

演示実験の場合の音源としては、もちろんメロディーICに限らない。図8のように、スマートフォンにさすイヤホンプラグにLEDと抵抗をつけたものを準備しておけば、スマートフォンから出る音をLEDの光にのせて、太陽電池で受けて鳴らすことができる⁴⁾。

8. 講座の例

実際に複数回の講座で実施した様子を記す。導入部では、光通信、LEDや光材料などの話をしている。その後、ブレッドボードの使い方に慣れてもらうために、電池と抵抗をつないでLEDの点灯実験を行っている。

小中学生20人を対象とした90分間の講座「物理教室」(物理教育学会、日本物理学会、および上野の国立科学博物館が共催)では、ひとり1個ずつ光情報発信器と光情報受信器を作って持ち帰ってもらった。大人4人が工作指導を行い、20人全員が90分間で図1および図3の回路を完成させることができた。時間がすこし不足して図4の回路にはすすまず、部品と回路図だけを配布した。回路素子を1個さすごとに、その段階の実体図と回路図を逐次スライドでみせながら皆でいっしょに回路を組んでいくようにした。

高校への出張講義は、4回経験した。次に記す大学の講義の場合も含めて、いずれも講師は1人だけであり、また、受講者どうしの議論を促すためにも、2人ペアで工作してもらった。24人が受講した1、2年生対象の100分間の講座の場合には、図1、図3、図4までの回路を全ペアが完成させることができた。ブレッドボードの使い方をはじめにしっかりと理解してもらうことによ

り、半分程度の受講者は、回路図を渡すだけで自分たちで相談しながら回路を作っていくことができていた。受講者が49人、40人、17人で、時間が50分から80分の講座の場合には、時間が不足して図4の回路にはすすめない場合が多かった。進行具合をみながら、講座終了時の演示実験や関連する話の時間を増減させている。

大学の講義では、図1と図3、そして翌週に図4と、2週にわたって回路部品を配布回収しながら実施している。大学2年生向けの電子回路の授業では、トランジスタの授業の途中で工作してもらい、信号を増幅することがトランジスタの基本機能のひとつであることを、音の増幅で体感してもらっている。実験計測に関する大学1年生向けの授業では、半導体を用いた光検出器および信号増幅の一例として実験してもらっている。

9. おわりに

LED照明の普及とともに、可視光情報通信の実用化も近い⁵⁾。電波よりも限られた領域で情報を発信できるので、たとえば博物館や美術館での利用が想定されている。そのような通信の初歩となる光通信実験装置を紹介した¹⁾⁻⁴⁾。用いたトランジスタ増幅のごく簡単な回路動作も議論した。メロディーIC、太陽電池、ブレッドボードなどを用いて、短時間かつ安価に作れる回路である。教員一人が多数を相手に通常の教室で実施できる電気回路に関係した講座の題材は、多くないと思われる⁶⁾。準備工作された教材や実験キットではなく、汎用の回路部品を一から組みあげて光が点滅したり音が鳴ること自体にも、特に小学生は強い興味を示した。それらの意味でもこの光通信実験装置は有用ではないかと考えている。

引用文献

- 1) 東京理科大学サイエンス夢工房:「楽しむ物理実験」朝倉書店(2003)116-118.
- 2) 伊藤尚末:子供の科学, 誠文堂新光社, 2012年3月号, 61-63.
- 3) 長谷川誠:物理教育 63-4 (2015) 269-272.
- 4) 長谷川誠:応用物理教育 32-2 (2008) 27-32.
- 5) 日本照明学会 第50回全国大会 シンポジウム講演予稿集「インテリジェント照明の現状と課題」(2017年9月5日) 12-01~05.
- 6) 奥野剛史, 中村仁, 鈴木勝:物理教育 59-2 (2011) 120-121. (2017年9月21日初回原稿受付) (2018年2月16日再原稿受付) (2018年5月29日改訂原稿受付)