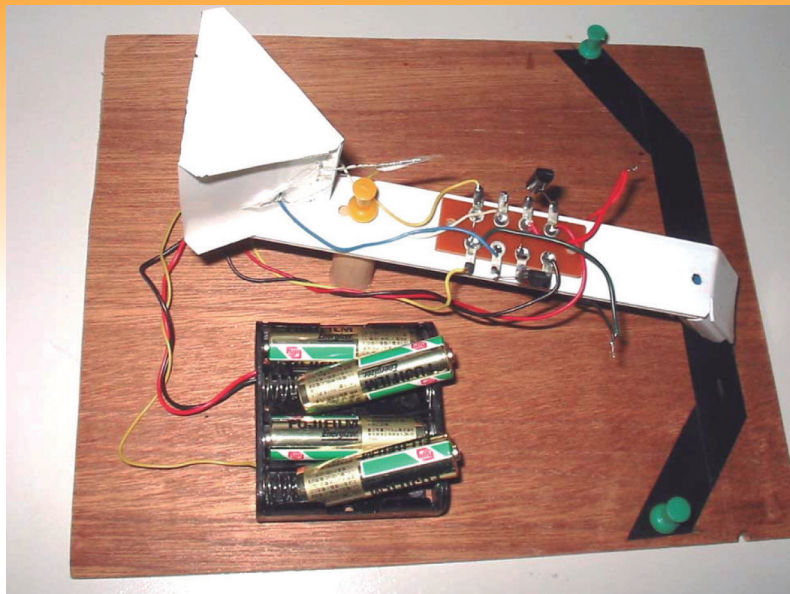


# 光の来る方向を感知しよう！ — 光追尾装置 —

本教材は宇宙とのつながりを軸として科学を身近に感じてもらうために作った科学教材です。本教材の利用による事故等については一切責任を持ちかねますので、本教材の利用は、経験のある指導者の指導の下に行ってください。



●教材提供●  
日本宇宙少年団  
北海道地区連絡協議会  
杉山光二氏

2007年2月28日 発行  
2013年4月1日 改訂

## 目標とねらい

外部からのいろいろな信号や刺激に反応し、その信号の来る方向に自分を向ける動作は、生物でも機器システムでも非常に重要なはたらきです。例えば、人工衛星の太陽電池パネルを太陽の方向に向かせることも、そんな働きの1つです。生物では生命維持や捕食など、機器システムでは航路維持やエネルギー確保など、多くの役割を果たしています。

ここでは光（可視光）に感じて反応し、入射光に向けて自分を自動的に回転（今回は2次元動作）させる最小限度の装置を自作してみます。高度な制御システムを知るのが目的ではなく、指向動作を自動化する最も簡単で基本的な原理の1例として考えてみるのが目的です。このままでは実用価値は望めませんが、少し改良すれば同じ原理で、太陽電池の自動回転（太陽追尾）くらいには応用できるものと思われます。同じ原理は宇宙ステーション「ミール」にも応用されていました。

|      |          |      |       |
|------|----------|------|-------|
| 対象学年 | 小学校高学年以上 | 所要時間 | 3～4時間 |
|------|----------|------|-------|

## 1 材料や工具の用意

### ●工作に使う材料・工具など

|  |  |
|--|--|
| <p>【電子工作用部品と材料】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> トランジスタ (2SA966、2SC2236 各1個)</li> <li><input type="checkbox"/> CdS セル (硫化カドミウム光導電素子) 2個</li> <li><input type="checkbox"/> 8P 平ラゲ板 (通称ハーモニカラグ)</li> <li><input type="checkbox"/> 模型用モーター (マブチ 130型)</li> <li><input type="checkbox"/> 単3乾電池 4本、乾電池ホルダー</li> <li><input type="checkbox"/> 配線用カラービニールコード (細めのものを1.5mくらい)</li> </ul> <p>*上記トランジスタは今回使用した例であり、次の</p> | <p>条件を満たすものなら別のものでも使えます。コンプリメンタリ型(特性が同じで逆極性の相補型。PNP型 [2SA～] とNPN型 [2SC～] のペアとなる。) 一対で、最大規格は1.5W・1A程度なら何でもよく、100円程度の低価格品が市販されています。CdSは6mmΦくらいの小型で安価(150円以下)なものも市販されていますので、同じものを2個ペアで使用して下さい。</p> <p style="text-align: right;">(次のページに続きます)</p> |
|--|--|

【前ページ以外の部品と材料】

- 電気配線用エフモール 3号長さ 20cm 以上 (マサル工業製と同等品)
- 木の板 (24cm×20cm 以上で反りのないもの)
- 木製の丸棒 (1.5cmΦ×5cm 程度)
- 画用紙などの厚紙少々
- 押しピン 3個

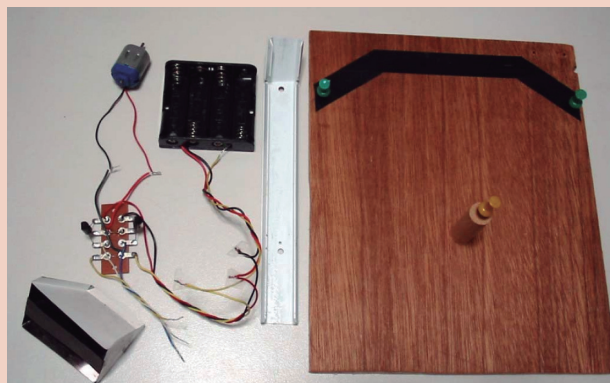
\*エフモールは壁に電気用配線を這わせるときに保護する樹脂製の鞘で、2.5cm 幅くらいの規格品がホームセンターなどにあります。この幅の規格品では 130 型マブチモーターがパチン! と固定されます。代替品としては、回転アームの役 (軽い) ができてモーター取り付けが容易ならば何でもかまいません。丸棒 (角棒でも良い) はモーターのボディーが床板に接触しないで、アームが水平になる様な長さで切ります。

【工具など】

- 両面テープ (受光部フードやラグ板、電池ホルダー等を固定)

- ビニールテープ (駆動ライン部分の滑り止めに木台に張る)
- セロハンテープ
- ハンダづけの用具一式
- のり
- はさみ
- ニッパー
- 釘

\*詳細は図から判断してください。



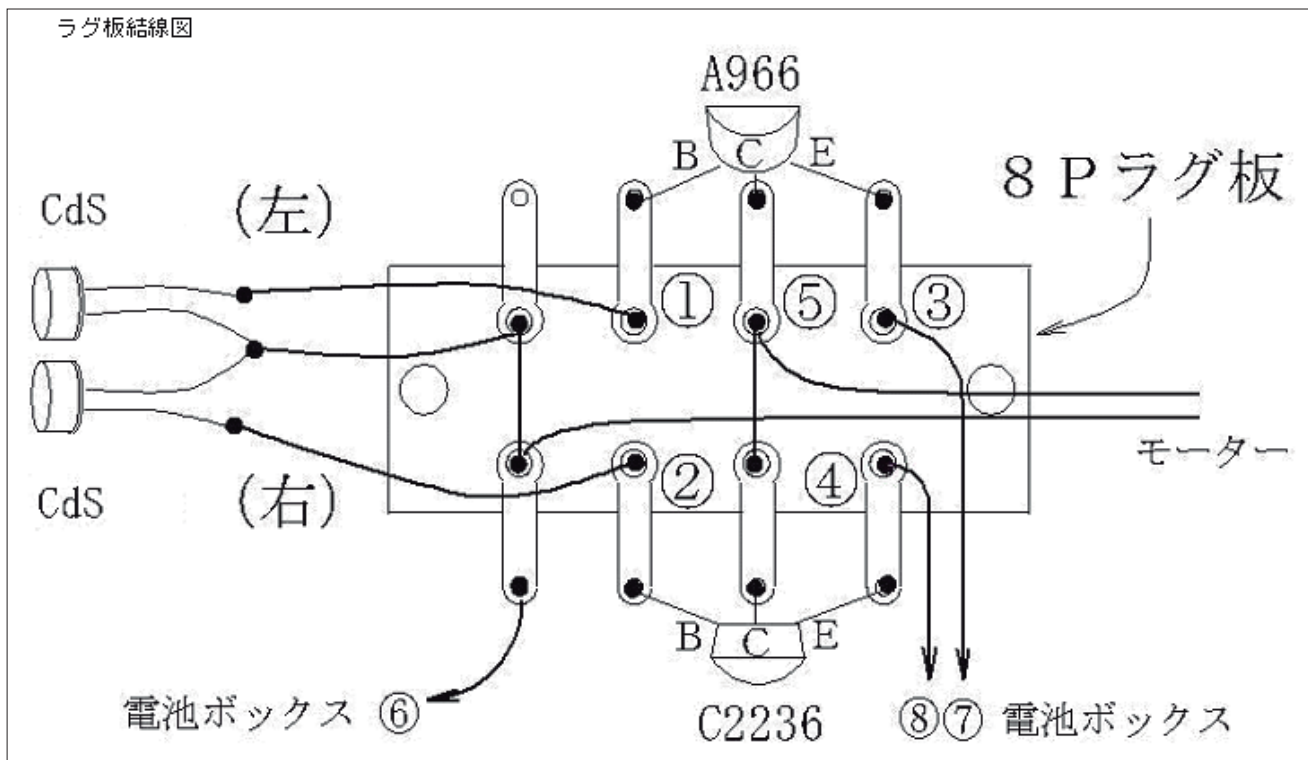
## 2 光追尾装置の工作

### ① ラグ板配線をする

基本的にはコード類を先に、最後にトランジスタをハンダづけしますが、トランジスタの型番と向きは間違わないように注意が必要です。

コードはハンダづけ部分以外に裸部分が出ないように気をつけ、動いても隣とショートしないようにします。

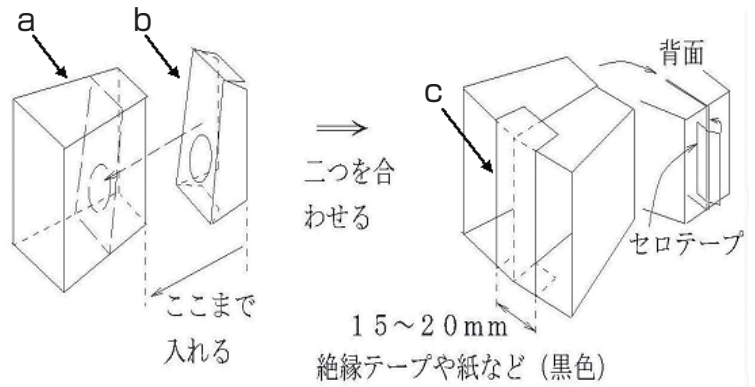
コードは長めに取っておき、組み立てるときに CdS・モーター・電池ホルダーに届くように切ります。とくに電池ホルダーへのコードは、アームの全回転範囲で動きを妨げないように注意が必要です。



## ②受光部フードを作る

右下の型紙を使い、厚紙で右図のように製作します。

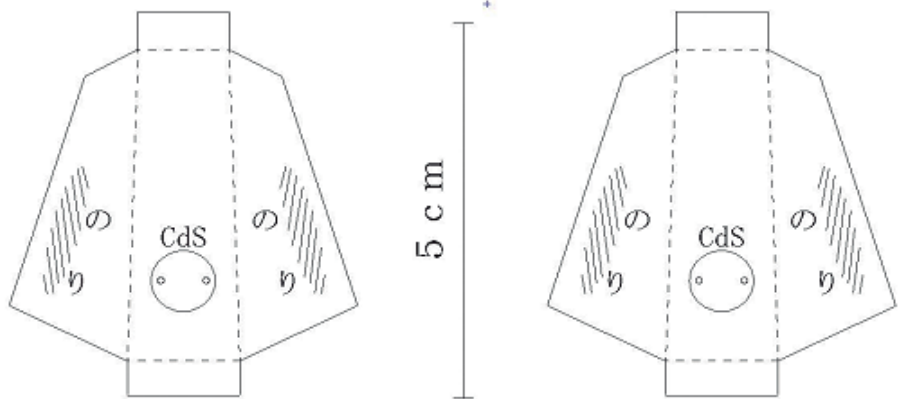
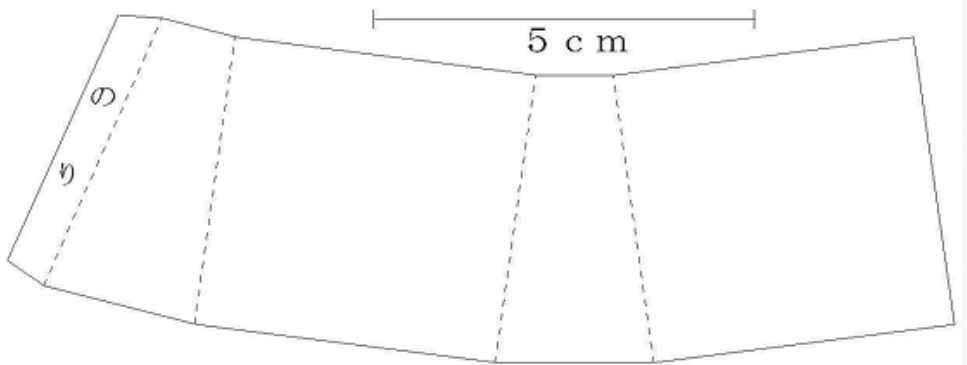
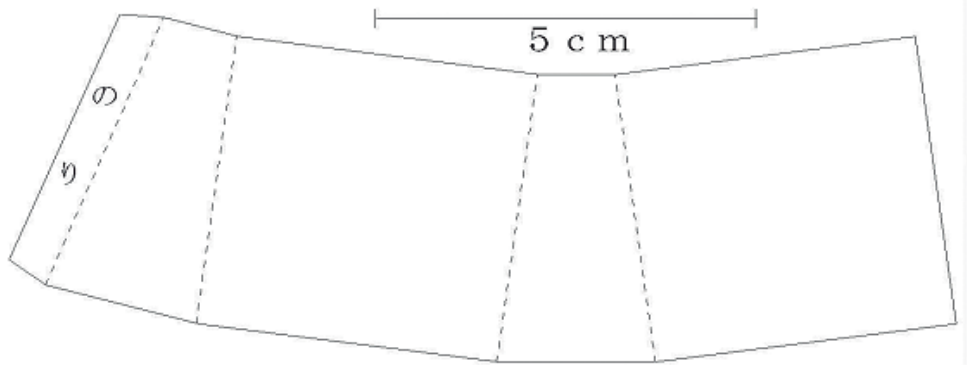
内部は黒く塗り、糊や中塗りが乾いてからCdS 2個を取りつけます。後部に小さな穴を開けてリード線を通し、セロハンテープなどで外から止めておきます。左右CdSの各1本ずつのリード線は折り合わせて1本にし(共通線)、全部で3本の線として使います。



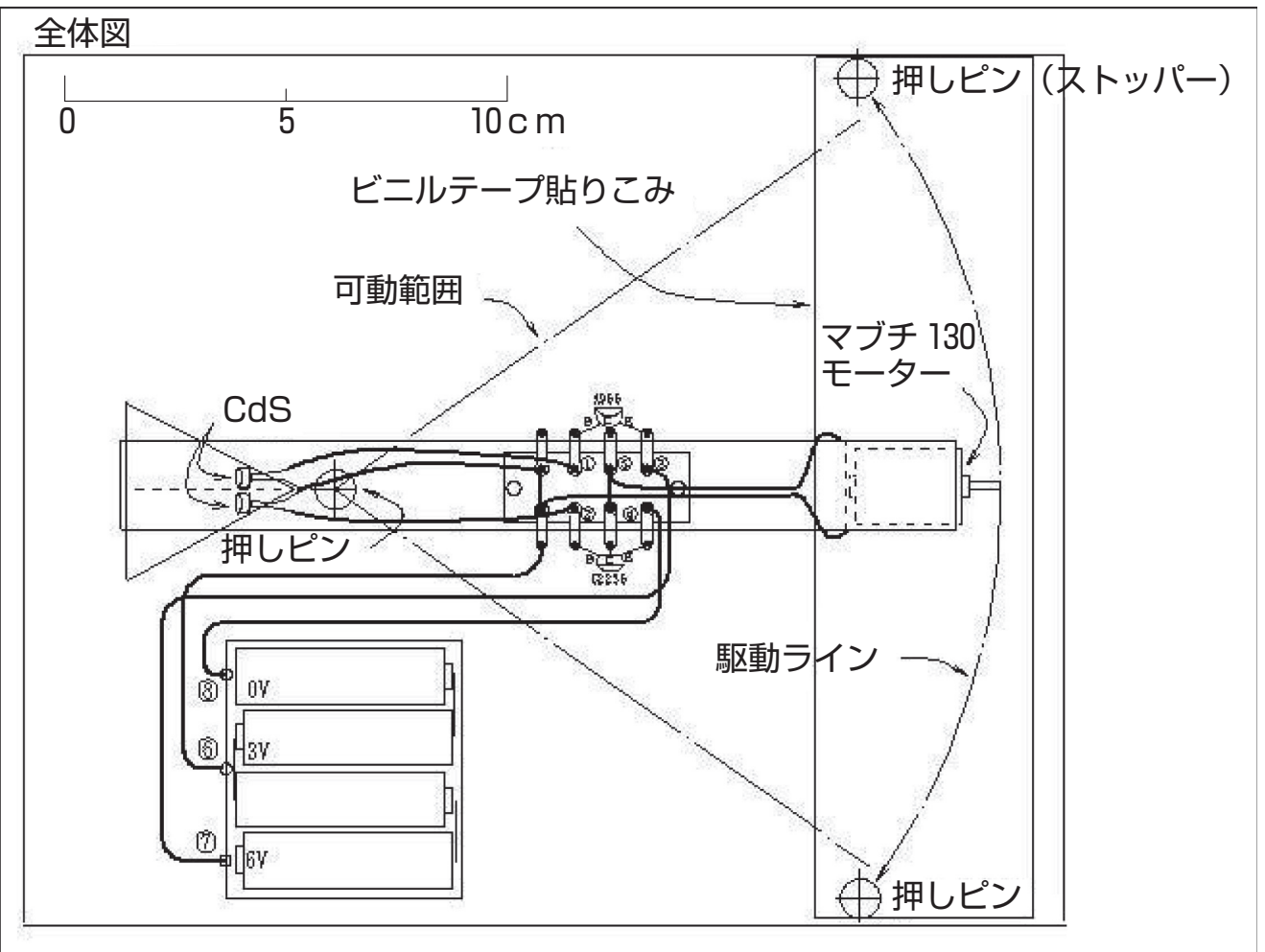
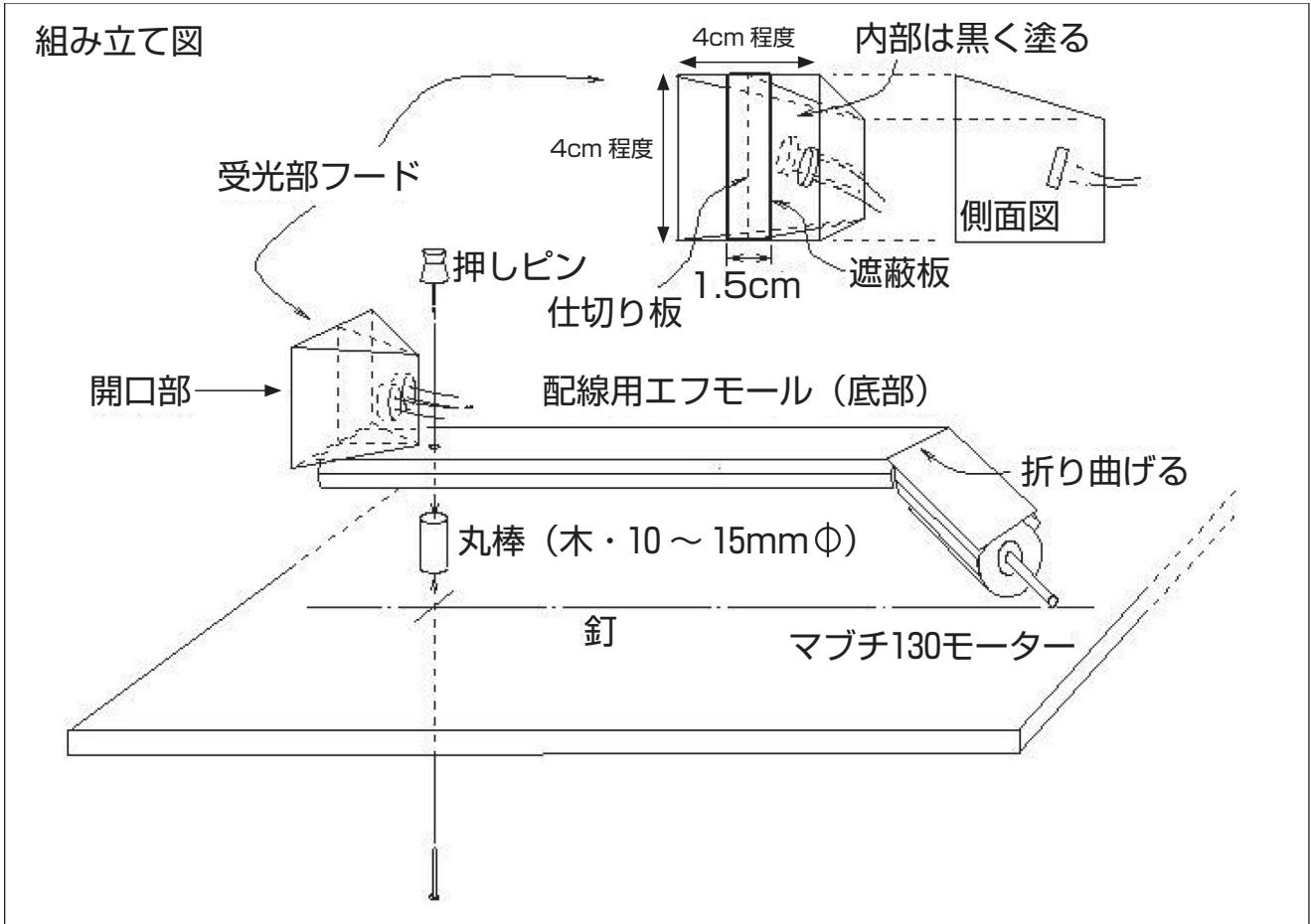
## 受光部フード製作例

展開図は原寸ですが、印刷条件などでサイズ通りにならない場合は、図の5cmのスケール(縦横とも)の印刷結果がその長さになるように調整してください。多少のサイズ違いは支障ありませんが、縦横比は変えないでください。

## 受光部フード型紙



- ①すべての折り目(山折り)を一度つけてからまた開いておく。
- ②千枚通しなどで、CdSのリード線取り出し用の小穴を2個開ける。
- ③完成後に内壁になる面を、黒く塗って完全に乾かす。(黒色の速乾スプレーができるときは、ここをとばして⑤の終了時点で吹きつけ、完全に乾燥させる。)
- ④上図aの箱を作り、bを取りつける。(a・bの後部辺[縦]を一致させる。)
- ⑤④を2個作り合わせる。(合わせ目を前後ともセロハンテープでとめる。)
- ⑥開口部中央にcの遮光テープを貼り、中央部縦ラインに沿って軽くおさえる。(テープの浮きを防ぐ。)
- ⑦CdSのリード線を後部から外へ引き出し、CdSが落ちないようにリード線を出口で曲げて、セロハンテープで止める。
- ⑧2個のCdSの足1本ずつをより合わせて1本にし、全部で3本の足にする。





### ③組み立てる（左の図参照）

受光部フード、ラグ板、モーター、電池ホルダーを、両面テープでエフモール（底部）のアームに固定し（モーターは、はめ込み）、最後に丸棒を台にしてアームを台板に押しピンで固定（回転できるように）します。図を参照しながらコード類を結線しますが、アームの回転に支障がないように余裕をみて下さい。モーターの先端が台板に接触する部分（駆動ライン）には、滑り止めとしてビニルテープを貼ります。

木の台に張る CdS のリード線は裸なので、ショートしないように離してセロハンテープテープで固定します。モーターへの接続極性はとりあえず無視して仮接続しておきます。

左ページの組み立て図と全体図を参考にして、自分流のバランスで組み立ててみてください。

## 3 点検と調整

※注意 受光部 2 個の CdS セルには、絶対に同時に光を入れないこと。（科学工作 8-8 ページの安全対策①参照）

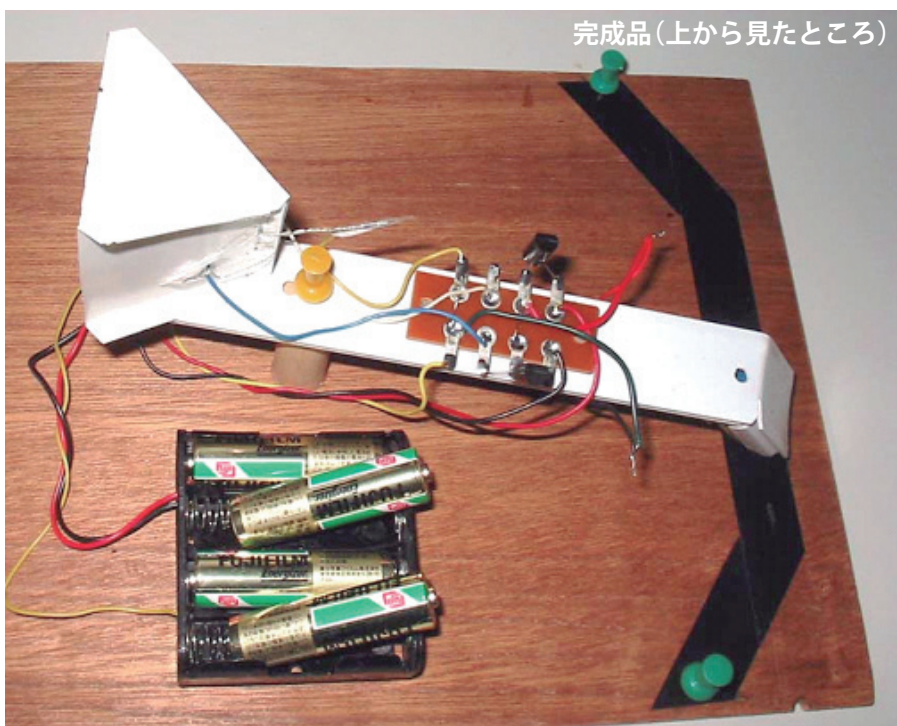
①各 부품の位置や向き、コード類の接続、ハンダくずやコードほつれによるショート等を丁寧に目で見て点検します。

②受光部に光が入らないようにして、電池を入れてみます。このときトランジスタの表面に指を触れておき、加熱しないか 1 分くらいようすを見ます。発熱するようなら電池をはずし、再点検します。

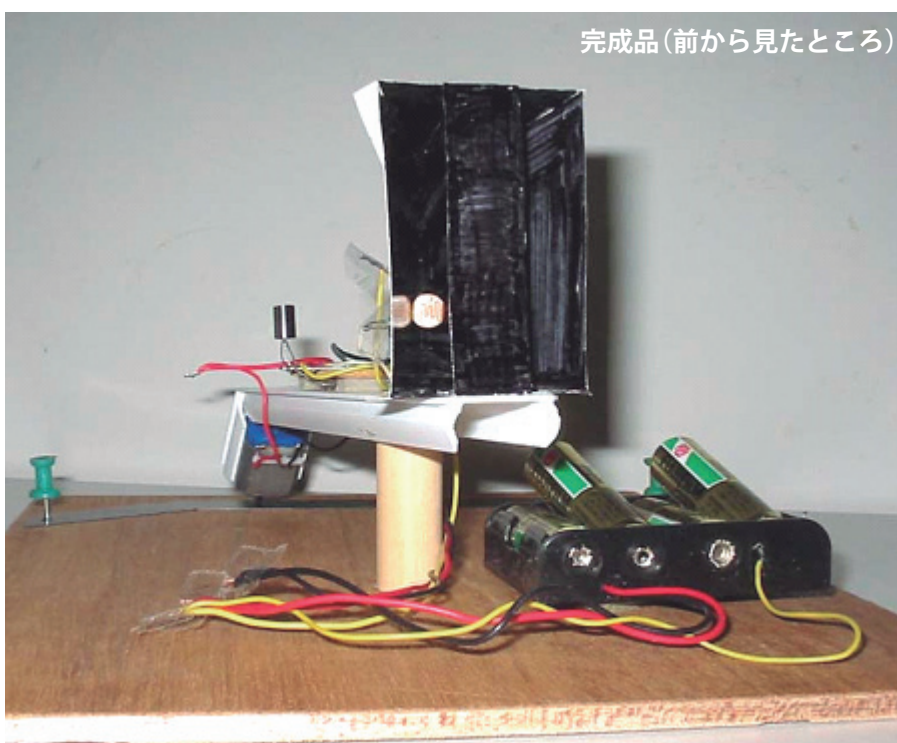
③異常がなければ懐中電灯などで受光部（こちらが前面）を照らし、ゆっくり左右に移動してみます。

このときの動かし方は、光軸が常に回転軸に向くように（つまりライトが常にアームの延長上に来る）気をつけます。もし受光部がライトから逃げるように回転したら、一旦電源を切ってモーターへの結線を+-逆につなぎかえます。

④ライトを追うように動作したら成功ですが、行き過ぎたり左右に振動したりするようなら、ライトまでの距離や CdS の向き、フードのたわみ等、次ページの動作原理を熟読の上、自己診断と対処をしてください。ここがいちばん勉強になるところです。



完成品(上から見たところ)



完成品(前から見たところ)

下の回路図で、左右どちらかのCdSに光が入射するとそのCdSの抵抗値が下がり、後続のトランジスタだけが導通します。どちらのトランジスタが導通するか（どちらの電池からの電流が流れるか）によって、モーターに流れる電流の向きが反転します。このとき、モーターが光を追う方向に回転するように結線極性を決めるとよいわけです。

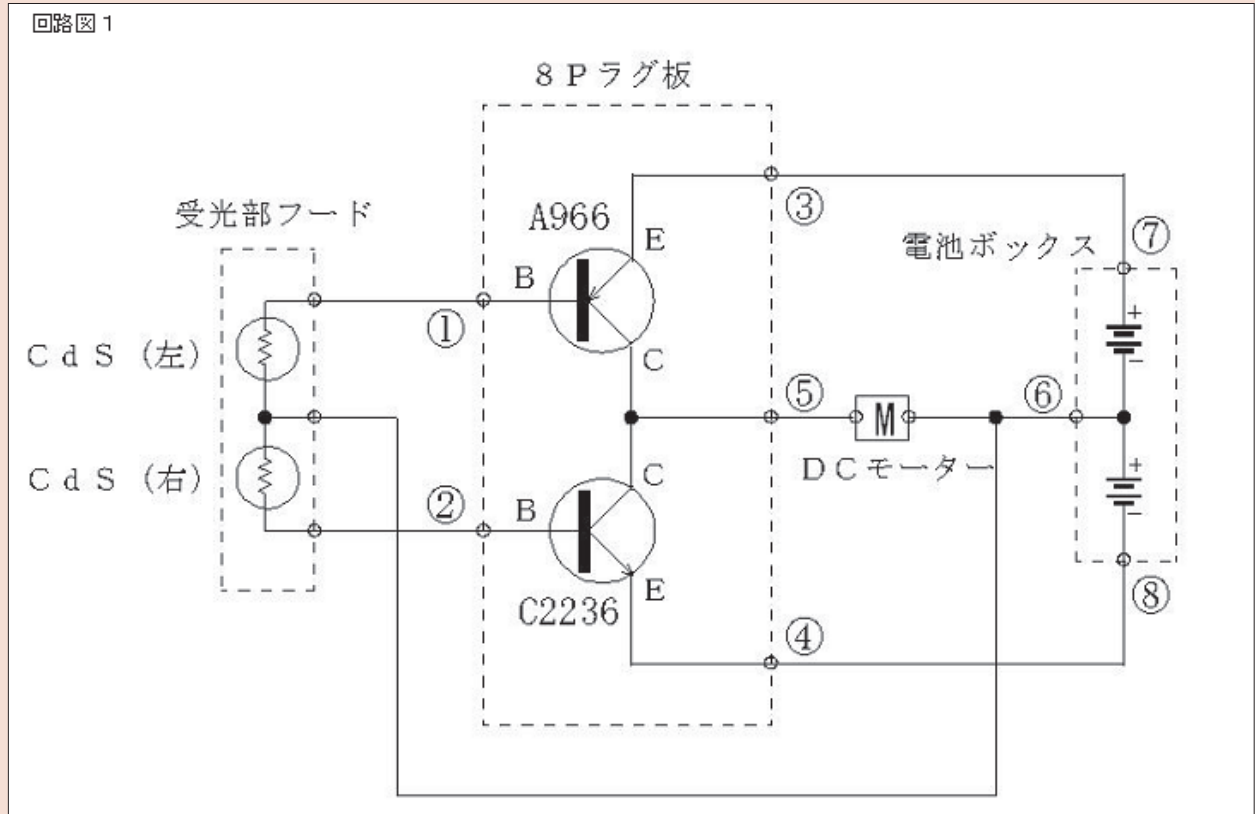
●入射光があったときの電流の流れ方

CdS（左）入射：[上の乾電池] → ⑦ → ③ → [A966] → ⑤ → [モーター] → ⑥ → [上の乾電池]

CdS（右）入射：[下の乾電池] → ⑥ → [モーター] → ⑤ → [C2236] → ④ → ⑧ → [下の乾電池]

この例で、モーターを通過する電流の向き（下線部分）が反転しているのがわかります。

回路図 1



## 参考 モータードライバー IC を使った回路例

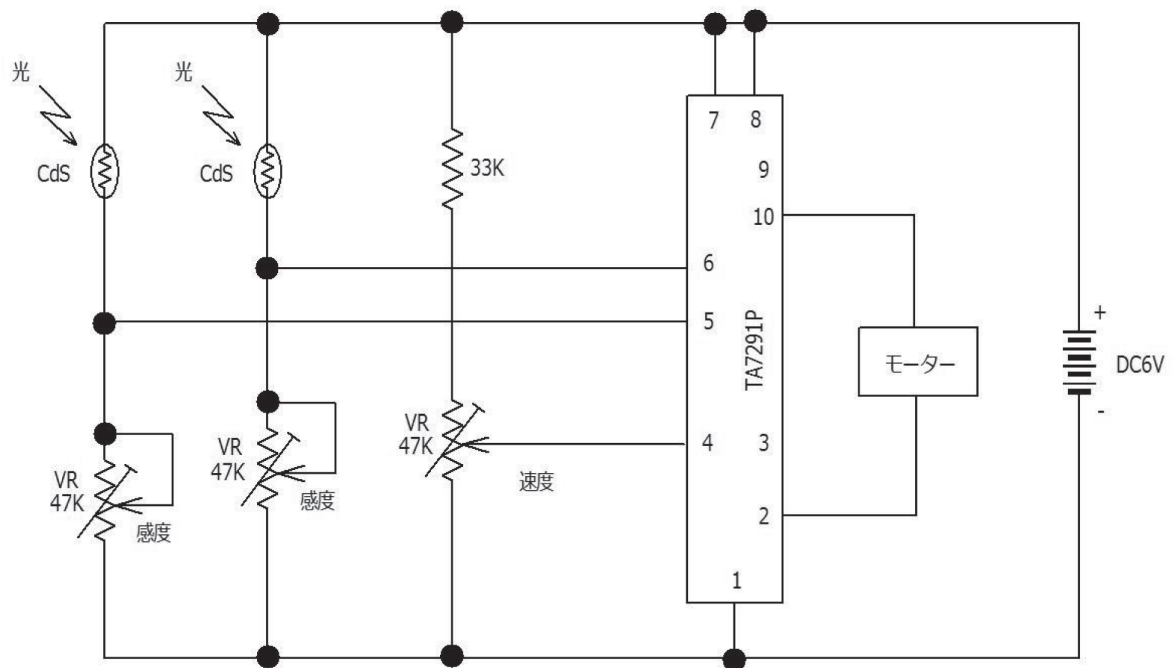
小型モーター用の安価なドライバー IC が通販などで容易に入手できますので、それを利用するとスッキリと仕上がります。

何よりもモーターのスピードコントロールが出来るのが便利です。この装置の様に減速比を大きく出来ない場合には、回転速度を出来るだけ落とす事によってスムーズに追尾させることが出来、実験しやすくなります。(減速ギヤは思いの外費用がかかり、工作も面倒になる。)

注) 速すぎると光を検知した位置での慣性に負けて、オーバーランやハンチング(左右に振動する)を生じて扱いにくい。

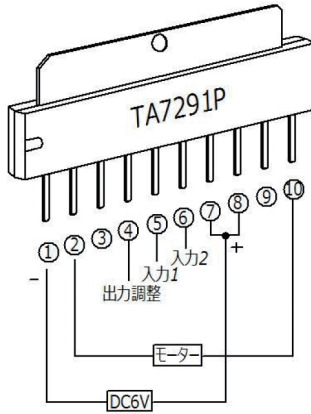
基本的な部品配置や調整方法は最初の例と同様ですので適宜トライしてみてください。  
回路図の「速度」ボリュームが回転速度調整です。3 個のボリュームは基板実装用の小さなものが安価に売ってますので IC 購入時に同時に求めると良いでしょう。回路図のモーターと電池以外の部品は、通販で 1 個 20 円～150 円程度で買えます。

回路図





ドライバーIC



⑤⑥にかかる電圧の組合せとモーターの動き

| ⑤ | ⑥ | モーター               |
|---|---|--------------------|
| 0 | 0 | 無回転                |
| 1 | 0 | 正回転                |
| 0 | 1 | 逆回転                |
| 1 | 1 | ブレーキ<br>(1は+電圧の意味) |

④：プラス電圧の大ききで出力電圧が変化して、スピードコントロールできる。

⑦：内部回路用電源  
⑧：モーター用電源

プリント基板自作例

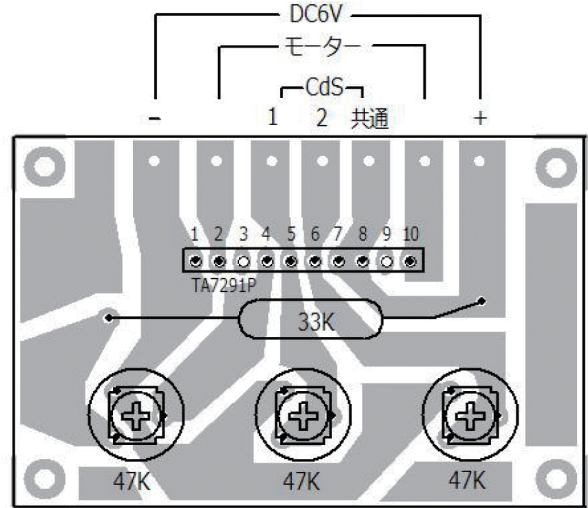


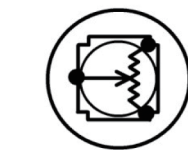
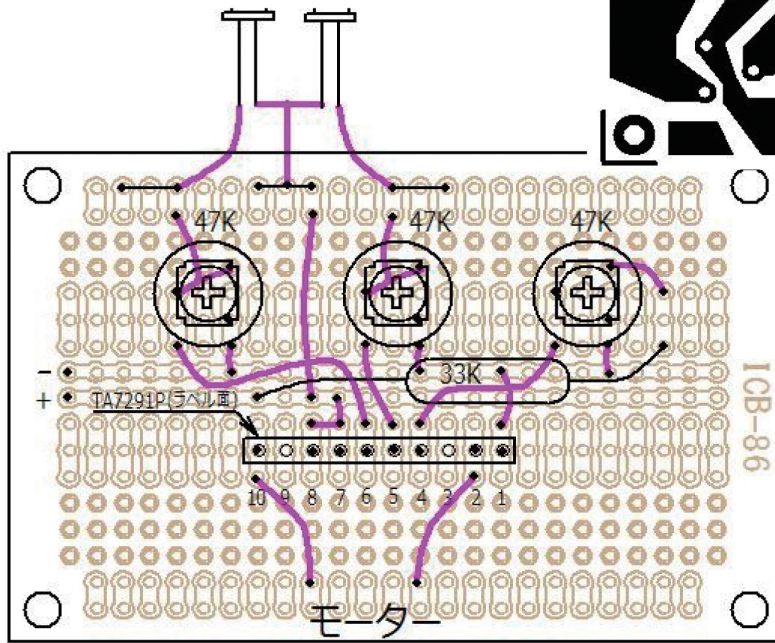
表 (部品面)

(60mm×40mm)

ユニバーサル基板を使った配置例

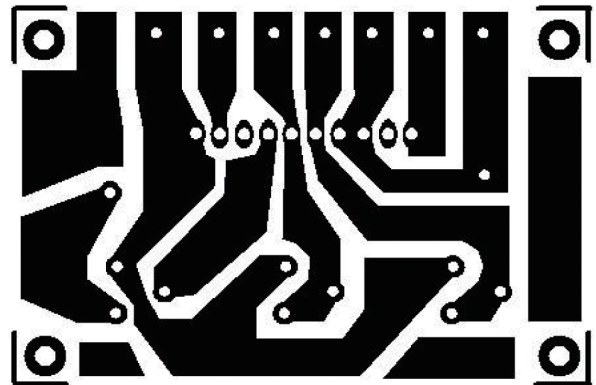
サトーパーツのICB-86という基板を使用した例ですが、他の穴パターンでも同様の結線にします。

(71mm×47mm・100円程度)



ボリューム足接続

表 (部品面)



裏 (プリント面)



## 参考

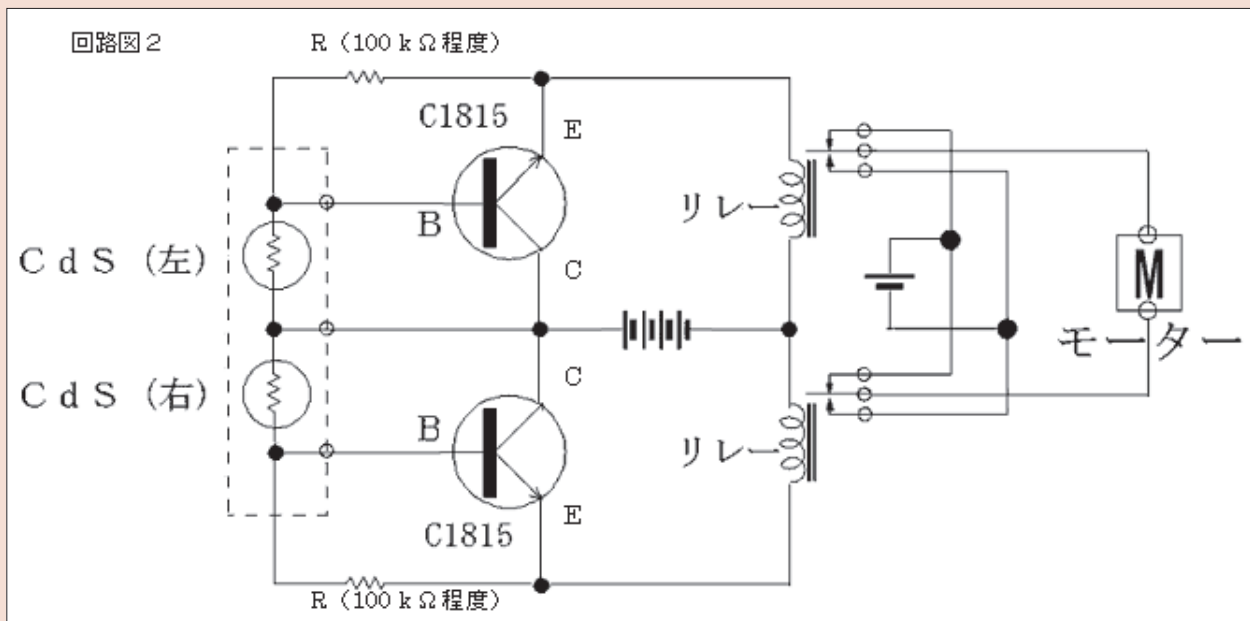
## 実用化への改良方法

今回の回路では光の入射状態に関する対処が不完全で実用にはなりません。(次ページ安全対策を参照) 次の回路図はこのことを避ける工夫をした、それなりに実用になる回路例です。トランジスタは2SC1815(NPN)を2個使用します。

費用的には、リレー2個分(1,000円~2,000円)だけ増えますが、このようにすると両方のCdSに入射光があっても、両方のトランジスタに同時に規定電流が流れるだけで安全です。このとき、モーターの両端子には電池の同極(この例では一極)が接続されて停止状態です。

さらにこの回路では、リレーの切れ味がよいために左右への動きが非常に細かくスムーズになり、十分実用的な動作範囲に入ってくるという特徴があります。

予算に余裕があるときは、こちらの回路がお勧めですが、そのときは2個のリレー配置場所を工夫して、重さや慣性によりアームの動きに影響しない様に工夫してください。

科学する心を  
育てよう

- ①目や耳など、左右に配置されている器官のはたらきを考え、それらの模倣や応用による装置やそのしくみを考えてみよう。
- ②入力信号の種類による動作原理の違いや共通点、生物を手本にした考え方と工学的に独立して考えられたしくみとの違いや共通点など、いくつかの観点からグループ分けしてみよう。
- ③人間などの両目が対象物の方向(光の来る方向)を知るのは、目的物にロック・オンしたときの左右の眼球の方向を脳で処理することによる。このとき、左右の眼球は本来別々の動きをしており、見ている物(事)も厳密には同一物ではない。同一物の異なる方向からの側面や、まったく別のものを見ている。これらが脳で処理されて1つのものとして見える(両眼単一視)が、このことで遠近感や立体感、視力(片眼の1.4倍)や視野(同1.6倍)の拡大、方向感・スピード感(時間要素が入る)等を得るといわれる。(科学工作8-8ページ補足資料参照)
- ④一方、両耳で聞く音の方向は、左右の耳に届く音波の時間差によって知るといわれているが、これも単に左右につけたマイク(ホーンをつける)に入った音の強弱を比較する装置で、ある程度の実験ができる。(科学工作8-8ページ補足資料参照)
- ⑤いずれにしてもこれらの動作には「脳の働き」や「意志」が深く関わっているのに対し、今回の光追尾装置では単に左右の明暗を比較しているだけであり、左右マイクによる音源定位は強さの比較だけである。したがって、前者は光源の移動を知るだけが精一杯で、光源の高速移動にも追従できない。後者も光ほどの切れ味は期待できないと思われるが、実験の意味はあるだろう。

## 安全対策

①受光部 2 個の CdS セルには、絶対に同時に光を入れない。もし入れると両方のトランジスタを同時に導通させることになり、直列 4 本分の電池から 2 個のトランジスタを通過して（モーターを通らず）、ショートに近い状態の過電流が流れる。その結果トランジスタが発熱し、放置しておくパチンと破裂（割れる）することもある。

この回路は、原理の学習実験だけを目的として最小の回路部品で組んである。そのため、過電流保護回路を組み込んでいない。フードの片側だけに光が入るように構造上の工夫をしてあるだけなので、指導に当たる方は、とくにこの点を意識していただきたい。

②ま近で覗き込むときは必ず電池をはずしておく。

③ 2 個以上のライトや直射日光などを当てない。

## 学習指導要領との関連

|     |    |              |         |
|-----|----|--------------|---------|
| 小学校 | 3年 | 理科（エネルギー）    | 光の性質    |
| 小学校 | 3年 | 理科（エネルギー）    | 電気の通り道  |
| 小学校 | 4年 | 理科（エネルギー）    | 電気の働き   |
| 小学校 | 6年 | 理科（エネルギー）    | 電気の利用   |
| 中学校 | 1年 | 理科（エネルギー）    | 光と音     |
| 中学校 | 2年 | 理科（エネルギー）    | 電流      |
| 中学校 | 2年 | 理科（エネルギー）    | 電流と磁界   |
| 中学校 | 3年 | 理科（エネルギー・粒子） | エネルギー   |
| 中学校 | 3年 | 理科（エネルギー・粒子） | 科学技術の発展 |

## 補足資料 こんな実験をしてみましょう！

### ①「左右の目と視覚」の実験

左目の前に左手で小さな筒を作り、右手のひらを右目のみで見える位置にかざすと、やがて右手のひらに穴が開いて向こう側（左目で見た筒の向こう）が合成されて見えます。子どもたちに体験させましょう。

### ②「左右の耳と聴覚」の実験

われわれの聴覚も、重低音域（数十ヘルツ程度以下）になるとその波長と両耳間隔との関係で方向感を失います。CD の音楽を聴く左右チャンネルのスピーカーも、重低音を受け持つ大きなものにする必要がなく、重低音域だけは両チャンネルをミックスして聴く大きなボックスを、自由な位置（方向感がないから）に置けばよいことになります。3D 方式と呼ばれるこの方法は、人間の音源定位の苦手な能力部分につけている（？）巧みな方法といえます。実験室である程度の実験ができますが、普通のオーディオコンポとセンターチャンネル（重低音）用のモノラル（ステレオの片チャンネル利用で可）セットが必要です。

(1) センター入力は左右チャンネルの信号をミックスして入れますが、重低音のよく出ているチャンネルからだけ信号をもらっても実験はできます。

(2) センターアンプがグラフィックイコライザー（簡易型でも）つきなら、最低音域だけ上げて残りはすべて下げ、ついていなければトーンコントロールで最低音（高域はカット）に設定します。

(3) センタースピーカーボックスの全面は座布団のようなもので覆い、高・中・低音を強引にカットします。近くにオーディオ電子工作の経験が少しでもある方がいたら、左右入力信号の簡単なミキサー回路（数個の部品）を組んでもらい、ついでに思い切り中高音をカットするコンデンサーを追加してもらおうとベターです。

(4) センタースピーカーは理論上どこに置いてもかまいませんが、呼称通り中央に置くと最も自然です。重低音は至近距離ではからだでも感じますし、スピーカーボックスが見えると目でも感じる（？）ので、方向を感じた気分になってしまいます。

(5) 厳密な実験は急峻な減衰特性を持ったローパスフィルターと重低音向きのウーファァーの入ったボックスが必要ですが、上記のような「借り物実験」でも十分可能です。レコード（CD）コンサートも兼ねて子どもたちに体験させるとスケールの大きい、楽しい実験になります。

## キーワード

光追尾装置、ラグ板配線、受光フード、受光部、入射光、回路図、人工衛星、指向動作

教材提供 : 日本宇宙少年団北海道地区連絡協議会 杉山光二氏  
発行 : 宇宙航空研究開発機構 宇宙教育センター

協力 : 財団法人日本宇宙少年団 YAC 株式会社学習研究社

©JAXA2009 無断転載を禁じます