

# 電磁波に関する教材の工夫

－工作感覚で作るゲルマニウムラジオ－

高橋 尚紀

ゲルマニウムラジオは、構造が単純で原理を理解しやすい教材である。また、放送を受信し音声を聞くことができるので、児童生徒にとって作成したときの喜びが大きい。従来のゲルマニウムラジオの作成にあたっては、半田づけあるいは、鱈口クリップによる配線を行う必要があった。本研究では、できる限り配線の手間を省略しようと試み、工作感覚でラジオが作成できるよう工夫した。また、可変コンデンサーの原理を理解できるように一部部品を透明にした。

【キーワード】 高等学校 共振回路 電磁波 ゲルマニウムラジオ 手作り

## はじめに

電磁波はテレビ、ラジオ、携帯電話などのメディアに使用されており、身近な存在である。しかし、五感では認識できないものであることから、日常、その存在を意識することは少なく、生徒にとっては、わからないもの、難しいものと判断されやすい。ゲルマニウムラジオは、構造が単純で、作成しやすい。構造が単純ゆえ、何故このような装置でラジオ放送が受信できるのか探究しやすい。また、アンテナ、コイル、コンデンサー、ダイオード、クリスタルイヤホンの役割など、発展・応用もできる教材である

## 準備

エナメル線（太さ0.3mm、長さ7m）、フィルムケース、工作用紙、塩化ビニルシート（厚さ0.2mm）アルミニウムはく、のり、はさみ、セロハンテープ、ゲルマニウムダイオード（IN60）、クリスタルイヤホン、千枚どおし、紙やすり

## ゲルマニウムラジオの準備・作成

### 1 ゲルマニウムラジオの作成

#### A. コイルの作成

##### 方法

- (1) フィルムケースの底の中央に、千枚どおしで穴をあける。
- (2) フィルムケースの側面（底から5mm程度のところ）にも千枚どおしで穴をあける。

- (3) エナメル線を側面の穴から通し、底の穴から約10cm出す（図1）。

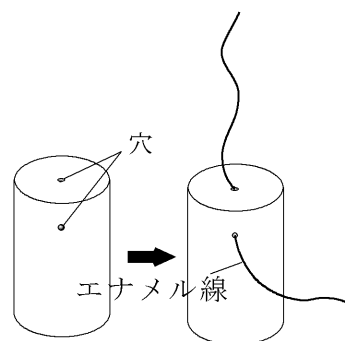


図1 コイルの作成1

- (4) フィルムケースの側面からでたエナメル線を、フィルムケースに貼り付ける。
- (5) エナメル線をフィルムケースに80回巻く。このとき20回おきにばらばらにならないように、セロハンテープで止めていく。
- (6) 80回巻いたら、巻き終わった地点のフィルムケース側面に千枚どおしで穴をあける。
- (7) 巻き終わった線を側面に開けた穴に通し底に開けてある穴から出す（図2）。
- (8) フィルムケースの底から出ているエナメル線の長さを約7cmに切りそろえる。また、紙やすりで、エナメル線両端のエナメルを削ってはがす（約2cm）。

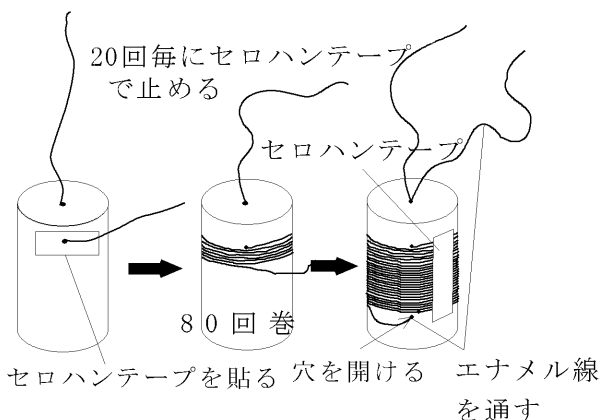


図2 コイルの作成2

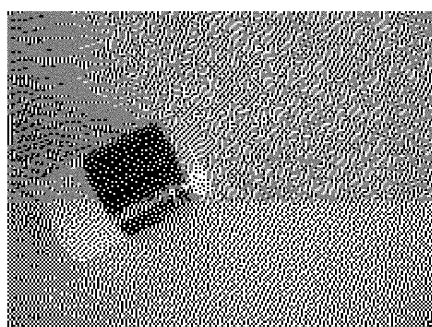


図3 完成したコイル

B. コンデンサーの作成

方法

- (1) 工作用紙にコンパスで半径6.5cmの円を描く。
- (2) 切りとった円の半分に、アルミホイルをのりで貼る。円からはみだしたアルミニウムはくはきれいに切る。



図4 アルミニウムはくを貼った工作用紙と塩化ビニルシート

- (3) 塩化ビニルシートにも、コンパスで半径6.5cmの円を描き、工作用紙の円と同じように

- 切りとった半分に、アルミニウムはくをのりで貼る。
- (4) 工作用紙円盤の裏に図5のように、幅2.5cm、長さ3cmの長方形を描く。

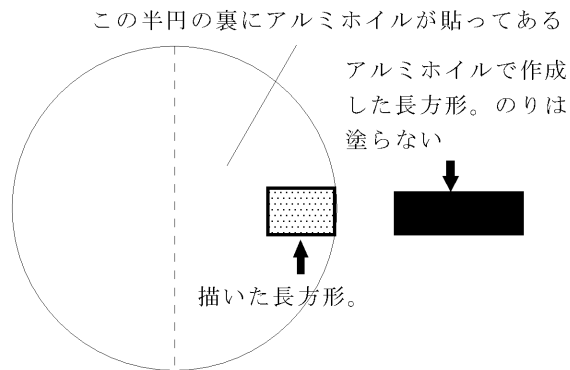


図5 コンデンサー作成2

- (5) 方法(4)で描いた長方形(図5の斜線部分)にのりを塗る。
- (6) 図5のように幅2.5cm、長さ6cmの長方形にアルミニウムはくを切る。このアルミニウムはくの部品は端子となる。
- (7) 方法(6)で作成した部品を工作用紙の裏、のりを塗った部分に貼り付ける。この際、アルミニウムはくには一切のりは塗らない。
- (8) 図6のように、はみだしたアルミニウムはくを折って、工作用紙の円盤の表にあるアルミニウムはくの上にセロテープで貼り付ける。

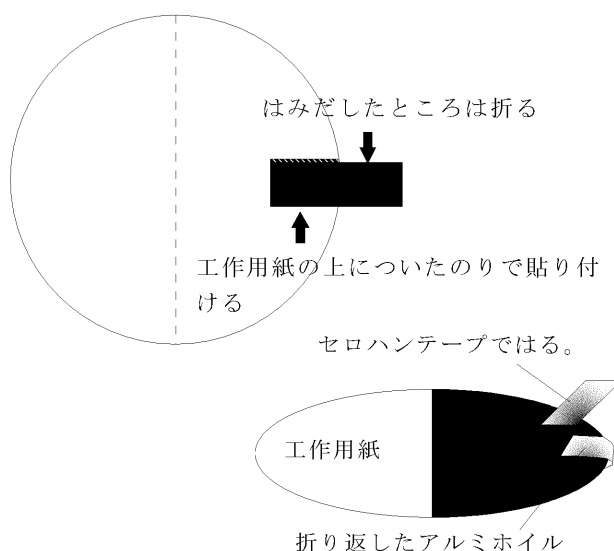


図6 端子の貼り付け

- (9) 工作用紙と塩ビシートとの円盤の中央に千枚通しで穴（あな）を開けておく。

C. 配線・組み立て

方法

- (1) クリスタルイヤホンのよじれているコードを10cmくらいほどく。ほどいたら先端の被覆を約2cm長はがす。

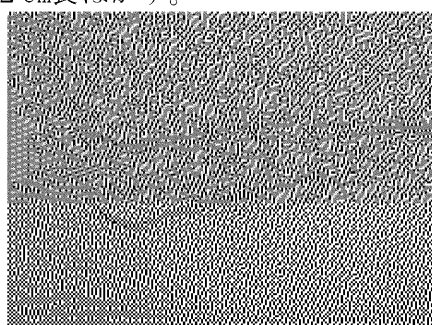


図7 クリスタルイヤホンの先端

- (2) フィルムケースの底にあけた穴に通すためクリスタルイヤホンの2本の線の先を、ねじって一つにする。  
 (3) コイルとなったフィルムケースの、口からクリスタルイヤホンの線の先端をいれて、底の穴に通す（図8）。

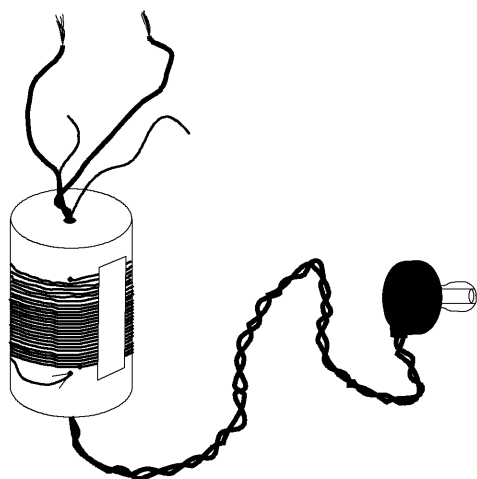


図8 イヤホンの線をコイルの穴に通す

- (4) 塩化ビニルシートを上、工作用紙を下にして重ねる。それぞれアルミニウムはくが貼ってある面が上になるように重ねる。塩化ビニルシートのアルミニウムはくと工作用紙のアルミニウムはくが接触しないように注意

する（図9）。

- (5) フィルムケースの底から出ているイヤホンの線とコイルの線一本ずつを、塩化ビニルシート、工作用紙の穴に通す（図9）。

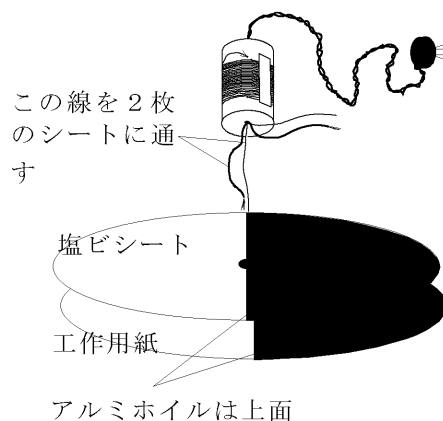


図9 コイルとコンデンサーの配置

- (6) フィルムケースの底から出ているイヤホンの線とコイルの線一本ずつを、塩化ビニルシート、工作用紙の穴に通す（図9）。  
 (7) 穴から通した、コイルとイヤホンの線を工作用紙の裏面につけたアルミニウム端子の上に、セロハンテープで固定する（図10）。

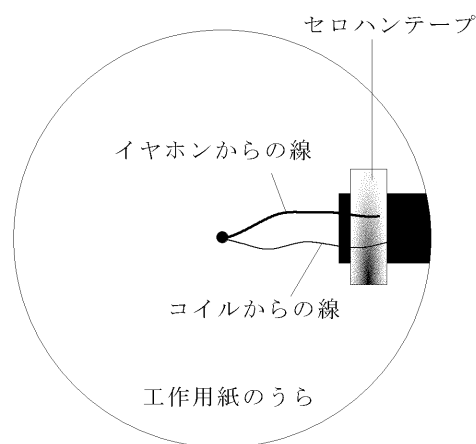


図10 裏面の配線図

- (8) 表の塩化ビニルシートの上のアルミニウムはくに、コイルのもう一方の線をセロハンテープで固定する。また、ゲルマニウムダイオ

ードの印のついている側の導線に、イヤホンの線をからめて、アルミニウムはくが貼っていない部分に固定する。ゲルマニウムダイオードのもう一方の導線は、アルミニウムはくの上にセロハンテープで固定する。

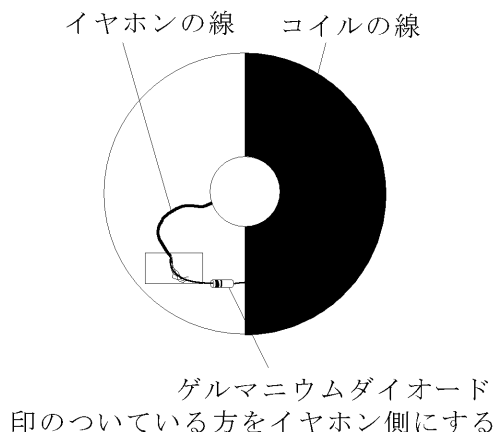


図11 表面の配線

- (9) 10cm四方のアルミニウムはくをたたんで、幅2cm、長さ5cm程度の端子をつくる。
- (10) 方法(8)で作った端子を塩ビシートに貼ったアルミニウムはくの上にセロハンテープで固定する(図12)。

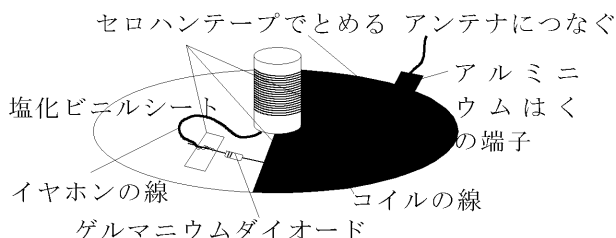


図12 アルミニウムはくの端子を固定

## 2 アンテナの設置と接続

ゲルマニウムラジオが聞こえるかどうかは、配線とアンテナの性能による。一番単純なアンテナは、長いリード線をつなぐことである。経験的には長ければ長いほど、良く聞こえる。ただし、電波の強い地域では、混信することがあるので、あらかじめどの程度の長さがよいかテストしておく必要がある。

### A 室内アンテナ

鉄筋コンクリートの建物の中では、室内アンテナで放送を聞くのは難しい。木造の住宅であれば、電波の強い所であれば放送が聞こえる。この場合も出来るだけ長いリード線がよい。また、金属類、たとえばカーテンレールやアルミサッシの枠などを利用することもできる。また、ループアンテナを作成してみるのもよい。以下にループアンテナの作成方法について述べる。

### 準備

リード線(50m程度)、木棒4本(2cm角、長さ180cm)、ヒートン(直径8mm)40本、針金

### 方法

- (1) 2本の木棒の中心に幅2cm、深さ1cmの切れ込みを入れる(図13)。

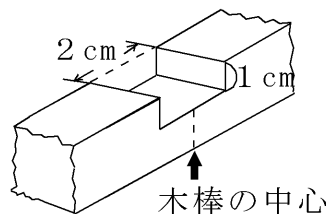


図13 木棒の切れ込み

- (2) 2本の木棒の両端から3cm間隔でヒートンをそれぞれ10本ずつねじ込む。その際、一方の木棒は溝を入れた面、他方の木棒は溝を入れた面の反対側の面にヒートンをねじ込む(図14)。

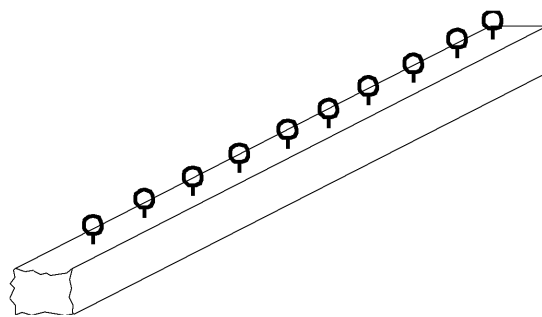


図14 ヒートンの取り付け

- (3) 2本の木棒の中心の切れ込みどうしをかみ合わせ十字の形に組む(図15)。

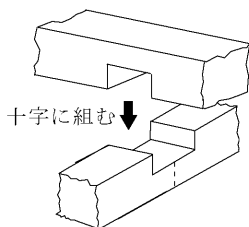


図15 十字に組む

- (4) 十字に組んだ部分を針金を用いて固定する。
- (5) ヒートンの一カ所にリード線の一端を固定し、図16のように十字に組んだ木棒にリード線を取り付ける。この時、リード線はヒートンの穴を通すとよいが、簡単に作るにはヒートンにリード線をひっかけるだけでもよい。

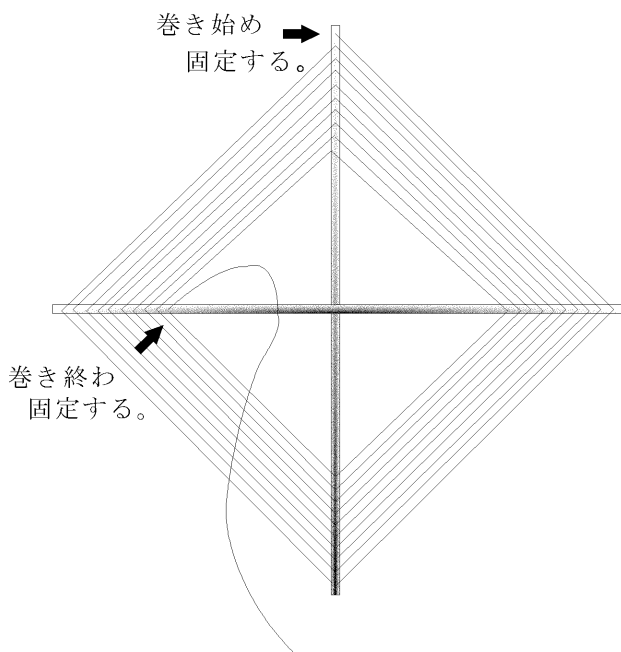


図16 ループアンテナ完成図

- (6) ゲルマニウムラジオにつないでみる。

**B 屋外アンテナ**

なるべく高く、周りに鉄筋コンクリートの建物の無いのが理想である。図17に設置例をある。その際、通行を障害しないように、十分設置場所に配慮する。

札幌市およびその近郊、函館、釧路、帯広、室蘭、北見の市街地では、50m程度の長さのリード線で十分放送を聞くことができた。

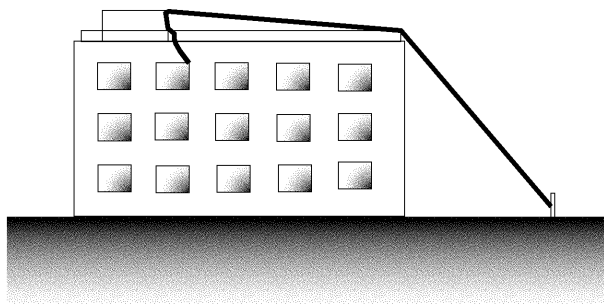


図17 屋外アンテナの設置例

放送が聞こえるかどうかは、放送局からの距離と放送局の出力による。なお、全国各地の放送局の周波数と出力の一覧は下のUCLで調べることが出来る。

<http://www.geocities.co.jp/SiliconValley-PaloAlto/1737/radio/sakuinaf.html>

<http://www.geocities.co.jp/SiliconValley-PaloAlto/1737/frame/frameaf.html>

**3 ゲルマニウムラジオの性能**

作成したゲルマニウムラジオで聞くことができる周波数帯について調べた。

同調される周波数  $f$  は、コンデンサーの電気容量を  $C$ 、コイルの自己インダクタンスを  $L$  とすると、

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots (1) \text{式}$$

で表される。

(1) 可変コンデンサーの電気容量  $C$

作成した可変コンデンサーの電気容量を容量計で測定した。容量計は精度1%で1pFから9990 $\mu$ Fまで測定できる機器である。可変コンデンサー自体に極板の間隔にばらつきが生じるため、測定値にばらつきが生じるが、50回測定し、極板どうし最大に重ね合わせたとき、電気容量の平均が234pF、極板の重なりが無い状態での電気容量の平均が72pFであった。

## (2) コイルの自己インダクタンス L

自己インダクタンスを直接測定する方法がなかったため、理論計算を行った。

L = 単層ソレノイドコイルインダクタンス

(H)

K = 長岡係数 (Nagaoka coefficient)

$\mu$  = 透磁率

a = コイルの半径 (m)

$l$  = コイルの長さ (m)

N = コイルの巻き数

とすると

$$L = \frac{K \mu \pi a^2 N^2}{l} \quad \dots (2) \text{式}$$

で与えられる。<sup>\*</sup>(1)

長岡係数 K は a と  $l$  によって決まる値で、以下の表の値となる。

2a/l	K	2a/l	K
0.1	0.959	1.2	0.648
0.2	0.920	1.4	0.611
0.3	0.884	1.6	0.580
0.4	0.850	1.8	0.551
0.5	0.818	2.0	0.526
0.6	0.789	3.0	0.429
0.7	0.761	4.0	0.365
0.8	0.735	6.0	0.285
0.9	0.711	8.0	0.237
1.0	0.688	10	0.203

表 1 長岡係数一覧

(2)式に今回のゲルマニウムラジオに用いた自作コイルの数値を入れ計算した。

コイルの半径は0.015m、長さは0.024m、巻き数80で計算を行うと、コイルの自己インダクタンスは  $L = 151. \mu\text{H}$  と求められた。

## (3) 共振周波数の帯域

C と L から、自作したゲルマニウムラジオの可聴周波数を求めた。数値を(1)式に代入すると847Hzから1526Hzの帯域の放送を聞くことができることがわかった。Cの値は手で押さえるなどすると800pF程度の測定もできたので、800pF程度であれば、458Hzまでの放送を

聞くことが可能であり、ほぼ日本のAMラジオの帯域535Hzから1603Hzをカバーしている。しかし、以上は理論上の物であるので、今後、受信できる帯域を測定するために、AM送信機を作成し実験することが必要である。

## おわりに

このタイプのゲルマニウムラジオの作成を、北海道科学の祭典のデモンストレーションで実施した。会場は函館、札幌、室蘭、帯広、釧路、北見であった。アシスタントが説明をしながら作成を行い、1人あたり30分程度の時間で作成が可能であった。最年少は幼稚園児で小学校1・2年生の児童であっても、説明が適切であれば作成可能である。

また、理科教育センターの高校物理講座および中学生のための科学教室でも作成を行った。この場合、マンツーマンでの作成指導ができないため時間的には1時間以上かかった。

ラジオの作成は、聞こえる喜びが、科学的な探究心につながる教材である。更に改良を重ねてゆきたい。

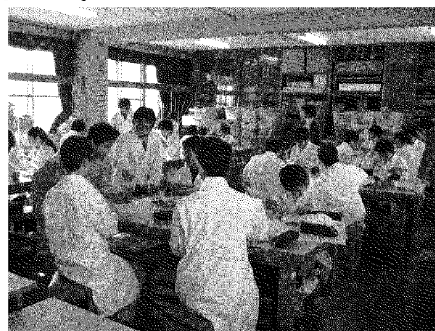


図18 中学生のための科学実験教室

## 参考文献

- 1) 後藤憲一 山崎修一郎 詳解電磁気学演習 pp281-283 共立出版 1970
- 2) 小林健二 ぼくらの鉱石ラジオ pp226-228 筑摩書房 1997
- 3) おとなの工作読本No. 1 誠文堂新光社 pp116-117 2002  
(たかはし ひさのり 物理研究室研究員)