

公開講座「身の回り品を使った電子回路工作」

青木博夫*・柄澤孝一**・山田達朗*
知野照信*

The Seminar, "Electronic Circuit with Personal Belongings"

Hiroo AOKI*, Koichi KARASAWA**, Tatsuro YAMADA* and Terunobu CHINO*

キーワード： 電子工作，ゲルマラジオ，身の回り品，公開講座

1. まえがき

電気工学科の公開講座は、平成5年度から「中学生のための電子回路教室」を実施してきた¹⁾が、同一テーマで開始してから4年を経過したため、平成9年度からは、新しいテーマ「身の回り品を使った電子回路工作」に切り替えた。そしてこのテーマも本年で4年経過したことから、その総括を行うこととした。このテーマを選んだ理由を以下に述べる。

最近の電子機器の中味は、ほとんどIC化されており、その動作を理解することは専門家であっても不可能な状態である。また電子回路工作も、ICを組み合わせて行うのが主流となっている。このような方法では電子工作の本当の面白さが分からないと考え、身の回り品にある品々で回路部品から作り、それらを組み合わせて、電子回路の基本要素をかなり含んでいるゲルマラジオを作製し、中学生に電子回路の不思議に触れてもらうことを目的としてこのテーマを選択した。

2. 公開講座テキスト²⁾³⁾

公開講座テキストを以下に示す。

2-1 何はともあれまず作ってみよう。

これから作ろうとするゲルマラジオの全回路図は図1のようになっています。簡単な回路ですが現代のエレクトロニクスは、すべてゲルマラジオから出発したといっても過言ではありません。

2-2 自作できない部品

2-2-1 ゲルマニウムダイオード

ダイオードはトランジスタのような半導体の一種です。電子回路ではシリコンダイオードがよく使われますが、ゲルマラジオを作るには、理由があってゲルマニウムダイオードを使います。今回使うゲルマニウムダイオード

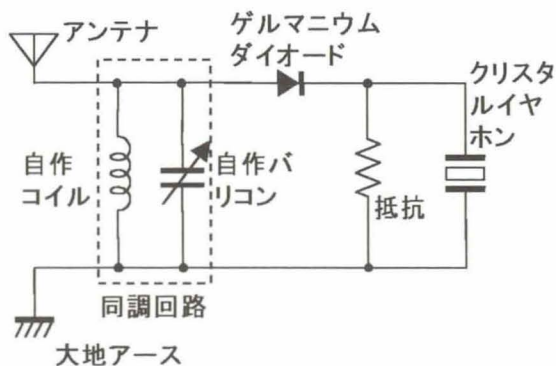


図1 ゲルマラジオの全回路図

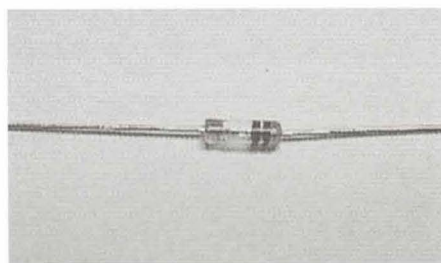


図2 ゲルマニウムダイオード1N60

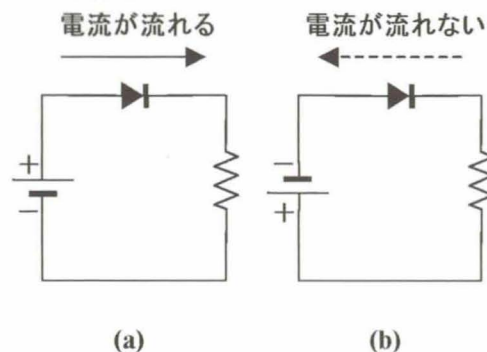


図3 ゲルマニウムダイオードの特性

* 電気工学科教授

** 電気工学科助教授

原稿受付 2000年10月31日

の名前は 1N60 (図2) といいます。ダイオードにはア

ノードとカソードという2つの足があります。印刷された帯(カソードマーク)のある方がカソードです。図3のようにダイオードは電流がアノードからカソードにしか流れません。

2-2-2 クリスタルイヤホン

ウォークマンなどに使われているイヤホンは正確にはマグネチックイヤホンというタイプです。これは音がいいのですが、電流を多く流さなければ使えません。電池などの電源があればよいのですが、ゲルマラジオでは電源がないので電流をあまり必要としないクリスタルイヤホンを使います。したがって音は若干マグネチックイヤホンより劣ります。図4は今回使用するクリスタルイヤホンです。

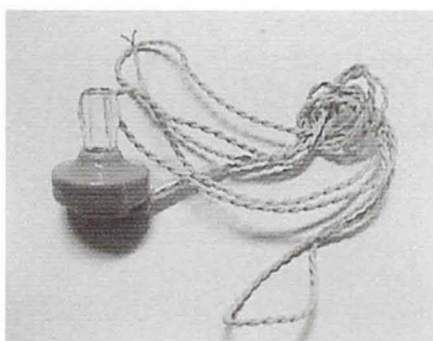


図4 クリスタルイヤホン

2-2-3 抵抗器

抵抗器は自作できない事はないのですが、かなり難しいです。ここでは市販品のカーボン抵抗器22kΩ(キオーム)を使います。

3. 部品の製作

3-1 コイルを作ってみよう

今回のコイルに使用する線はウレタン線といって、銅線にウレタン樹脂の皮膜を付けたものです。ウレタン線は銅色をしているので、見かけは絶縁被覆のない裸銅線と変わりありません。今回の製作には直径0.5mmのウレタン線を10m使います。それではコイルを巻きましょう。巻き枠にする円筒(ポビンという)が必要です。家庭にあるラップやトイレットペーパーの芯またはプラスチック製の筒で結構です。ただし金属製の筒ではだめです。ポビンの直径は3cm以上あれば結構です。図5のようにポビンに穴を開けてそこにウレタン線を通してから巻きはじめます。

線は隙間なくできるだけ固く巻いて下さい。ウレタン線のはんだ付けは、カッタナイフで絶縁の被覆をはがしてから行います。

3-2 バリコンを作る前にバリコンの原理

バリコンはバリアブルコンデンサの略です。コンデン

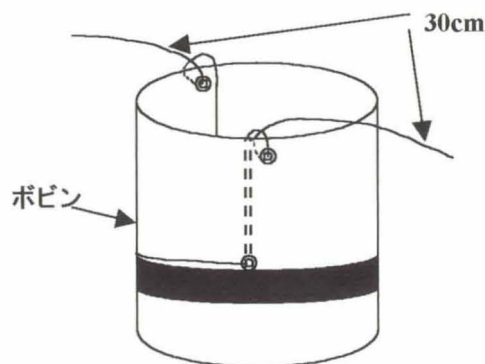


図5 自作コイル

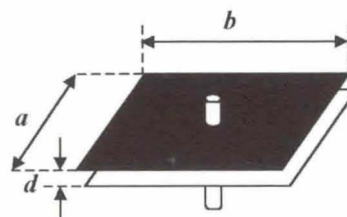


図6 最も簡単なコンデンサの構造と静電容量

サは電気を蓄える装置です。図6は2枚の金属板(極板)を向かい合わせた平板コンデンサと呼ばれる、最も簡単で基本的なコンデンサです。

極板に電池をつなぐと、極板にプラスの電気(+Q)とマイナスの電気(-Q)がたまります。Qのことを電気量といい、これは極板に加えた電圧Vに比例します。この比例定数を静電容量Cといいます。つまりコンデンサに蓄えられる電気量Qと電圧Vとの間には、

$$Q = CV \quad (1)$$

が成り立ちます。電気量Qの単位はクーロン、静電容量Cの単位はファラド(記号はF)です。平板コンデンサの静電容量C[F]は、次式のように極板の面積 $S[\text{m}^2]$ に比例し、極板の距離[m]に反比例します。ただしこれは極板の間に何もはさまない場合で、何かをはさむとその物で決まるある値をかける必要があります。

$$C = \frac{(8.85 \times 10^{-12})S}{d} \quad (2)$$

たとえば図の $a = b = 10\text{cm}$ で、 $d = 1\text{mm}$ なら、

$$C = \frac{8.855 \times 10^{-12} \times 0.01}{0.001} = 8.855 \times 10^{-11} [\text{F}] \\ = 88.55 [\text{pF}] (\text{ピコファラド}) \quad (3)$$

となります。さて2枚の極板を図7のようにずらすと、向き合っている面積が減りますから、静電容量も減少します。極板の片方を固定し、もう一つの極板をスライドさせると、スライドした量に応じて静電容量を可変することができます。これがバリコンの原理です。

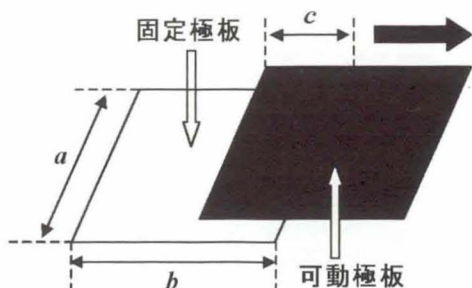


図7 バリコンの原理

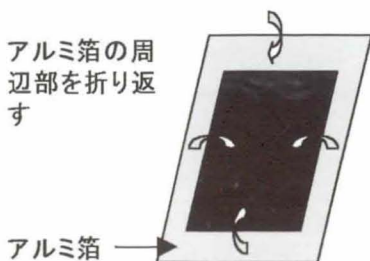


図8 ボール紙とアルミ箔で極板を作る

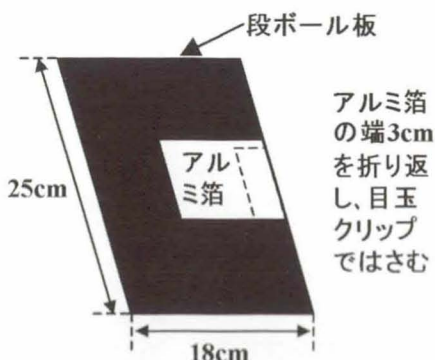


図9 段ボール板にアルミ箔を貼り付け、バリコンの固定極板とする

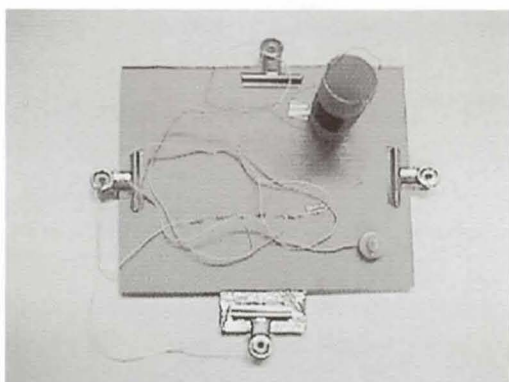


図10 ゲルマ・ラジオ

3-3 バリコンを作ってみよう

極板はアルミ箔を使います。キッチンにあるアルミホイルです。箔の厚みは15ミクロンくらいなので普通のはさみでカットできます。ただしアルミ箔が薄いので、そのままではすぐクシャクシャになってしまっただけで極板の用をなしません。そこで、図8のようにアルミ箔に厚手のボール紙をあてがい、ボール紙をアルミ箔でくるんでしまいます。アルミ箔の周辺部をセロハンテープでボール紙に固定すれば立派な極板です。

この極板を2枚作り図7のように対向させれば、スライド式バリコンになります。バリコンの最大容量は500pF位必要で、そのためには極板の距離を0.2mm位にしないとイケません。でも2枚の極板がこんなに接近すると、極板同士がおそらくショートするでしょう。そこで極板の間に紙をはさみ、両者を絶縁します。厚みが0.05～0.1mm位のすべりのよい丈夫な紙を使います。絶縁紙の挿入により静電容量も増えるため、一石二鳥です。なおアルミ箔のしわやたるみは、よく伸ばしてください。アルミ箔には普通のはんだが付かないので、目玉クリップでアルミ箔をはさみ、目玉クリップにリード線をはんだ付けします。ボール紙とアルミ箔による極板はそりが避けられないので、静電容量は計算値より少な目になります。そこで極板と絶縁紙が互いに密着するよう、極板に少し圧力をかけます。

また次のように作れば容量はさらに安定します。まず薄手の段ボールをカットして18×25cmのボードを2枚作ります。その一枚にアルミ箔(10×14cm)を貼り付け(図9)、アルミ箔の周辺部をセロハンテープで固定します。その上にアルミ箔より少し幅広の絶縁紙を乗せ、これもセロハンテープでボードに固定します。その上に図8の極板を1枚乗せ、もう1枚のボードを重ねます。図10のように2枚のボードの三方と間に入れた極板をそれぞれ目玉クリップではさめば、スライド式バリコンの完成です。

4. ラジオ本体の製作

自作ボードの上にコイル、ダイオード、抵抗を取り付け図10のとおり配線します。

4-1 アンテナとアース

ゲルマラジオは電源がないので、イヤホンの振動板を動かすためのエネルギーは、放送局から放射される電波のエネルギーを利用するほかありません。そのエネルギーを取り込むのが受信アンテナの役割です。受信しようとする電波は中波帯の中の周波数が540kHz～1600kHz位の範囲の電波です。本校で受信できる主な放送局は、NHK第1(819kHz)、SBC(1098kHz)、NHK第2(1467kHz)です。アンテナは、ビニール線(ビニール被覆の銅線)を、窓から水平に数m出して張り、その一端をコイルに接続します。アンテナに劣らず重要なのがアースです。ゲルマラジオは感度が低いので、コイル

の一端をアースして電流を流しやすくする必要があります。しかし電波の強い所では、アースを接続しなくても聞こえることがあります。

4-2 調整

ゲルマラジオにアンテナとアース線をつなぎ、バリコンの極板を出し入れすると、なにか放送が受信できるはずですが。もし何も聞こえないときには、次の原因が考えられます。

- (1) 配線間違い、接続不良、バリコンの短絡など。
- (2) 同調がずれている。

電子工作は、なかなか一発で成功とはいかないものです。正しく作ったつもりでも、人間のすることですから、どこかに見落としのあるのが普通です。簡単な回路といえども、動作させる前には2, 3回配線を点検しましょう。

4-3 同調回路のしくみ

アンテナにはあらゆる電波が飛び込みますので、その中から希望の電波を選ぶのが同調です。どうやって選ぶかという、放送電波の周波数の違いを利用するわけです。電波は電磁波という波の一種です。一般に周波数の異なる波がいくつもあるとき、その中から一つの波を取り出すには共振という現象を利用します。

4-4 共振

音波の振動に関する共振を特に共鳴といい、この言葉はよく知っていることと思います。また電波も波ですから、電子回路の中で共振ということを起こします。電子回路の中でとくに共振を起こしやすい回路を共振回路といいます。そして電波のような外部から入ってくる信号の周波数に共振させる回路を同調回路と呼びます。

4-5 共振周波数

ゲルマラジオにも同調回路があります。コイルとバリコンの並列接続回路(図11)で「並列共振回路」とも呼ばれます。その共振周波数は、バリコンの静電容量 C とコイルの自己インダクタンス L の値によって定まってきます。

自己インダクタンスという言葉が突然出てきました

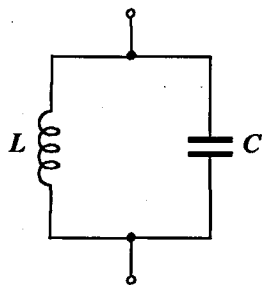


図11 並列共振回路

が、これはコイルの自己誘導現象に関係する定数です。コイルに電流を流すと磁界が発生します。電流の大きさを変えると磁界の強さに変わります。その磁界の変化を妨げるような電圧(起電力)がコイルに発生します。これがコイルの自己誘導作用です。自己誘導によって発生する起電力の大きさは、電流の変化の速さに比例し、起電力 $= L \times$ 電流の変化の速さ、となります。この式の比例定数 L を自己インダクタンスといいます。起電力の単位はV(ボルト)、インダクタンスの単位は(ヘンリー)です。また電流の変化の速さ $[A/s]$ (アンペア毎秒)です。さて図11の同調回路の共振周波数 f は、コイルに自己インダクタンス L とバリコンの静電容量 C によって次のように定まります。

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [\text{Hz}] \quad (4)$$

そこで、 L または C の値を適当に変えれば、 f をさまざまな放送局の周波数に一致させられます。これがバリコンを使う理由です。コイルの L は巻き数やウレタン線の太さやボビンの直径などによって変わるので、今回の自作コイルの自己インダクタンスは、おおむね $100 \sim 200\mu\text{H}$ の範囲にばらつきます。また自作のバリコンの C も極板間の距離を正確に制御できないので最大容量が $300 \sim 1000\text{pF}$ 位の範囲にばらつきます。

5. まとめ

身近にあるものからラジオができたので感動したことと思います。なぜアルミ箔の大きさがあれではなくてはいけないのか、コイルの巻き数はどういう意味があるのか、ダイオードと抵抗はどういうはたらきをしているのかと、いろいろ疑問も感じたことと思います。またスピーカを鳴らすにはどうしたらよいのだろうか。テレビはどういう仕組みになっているのだろうか。コンピュータはなぜ計算できたり、いろいろな情報処理ができるのだろうか。これらの疑問は電磁気学、交流理論、無線工学、半導体工学、電子回路といったようなことを学べば、わかるようになり、またもっと複雑な回路も設計できるようになります。

時間に余裕のある生徒のために以下のテキストも用意した。

6. トランジスタアンプの製作

6-1 低周波1石アンプ

ゲルマラジオは電源が無くても聞くことができ、その点では優れていますが、必ずイヤホンを使わなければならないという面倒くささが残ります。そこでトランジスタ1個とトランス、スピーカなどから成る最も簡単なアンプを作り、そこにゲルマラジオをつなぎ、スピーカから音を出してみましよう。その全体の回路図は図12の通りです。試作した低周波一石アンプは図13のようになり

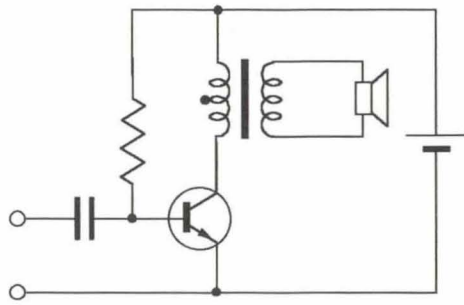


図12 低周波一石アンプ

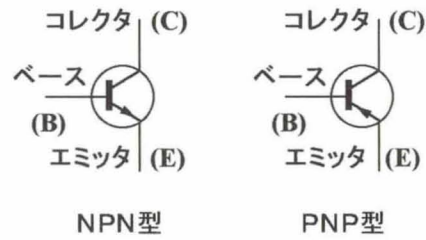


図14 トランジスタの回路記号

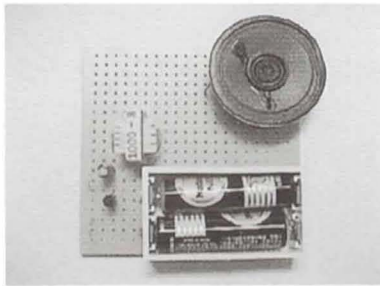


図13 試作した低周波一石アンプ

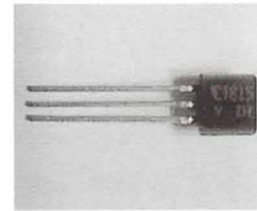


図15 トランジスタの実物図

ます。

6-2 新たな部品

6-2-1 トランジスタ

トランジスタは電子回路の部品で、主役がこのトランジスタです。ダイオードと同じように、ゲルマニウムやシリコンを主材料として作られ、作り方によってpnp型とnpn型があります。トランジスタには3つの電極があり、それぞれコレクタ (C)、ベース (B)、エミッタ (E) と呼びます。トランジスタの主なはたらきは、マイクロホンやラジオ電波などから得られた小さな電気信号でベース電流をコントロールして、コレクタ側で大きな電気信号を得ることであり、このことを増幅作用と呼びます。トランジスタの記号と電極 (足) の関係を図14に示します。

6-2-2 電解コンデンサ

コンデンサにはたくさんの種類があります。ラジオでも自作のコンデンサを使いましたが、比較的大きな静電容量を必要とする時に電解コンデンサを使います。この電解コンデンサには電池と同じように、プラスマイナスがあり、これを間違えるとパンクすることがあります。コンデンサには(1)電気を一時的に蓄電する、(2)交流は通すが、直流は通さない、という2つの性質があり直流の質を良くしたり、交流信号と電源電圧 (直流) を分けるなどたくさんの用途があります。

6-2-3 トランス

トランスには電源トランス (変圧器) と低周波トランス (変成器) とがあります。ここで使うトランスは変成

器です。電子部品の中では理解しにくい部品ですが、ここでのトランスのはたらきは、電気信号を効率良く伝えるために、回路と回路、回路とスピーカの間をつなぎ合わせる部品と考えてください。仕組みは図16のように鉄心に二つのコイルを巻いたもので入力側を一次コイル、出力側を二次コイルといいます。

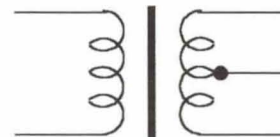


図16 トランスの回路記号

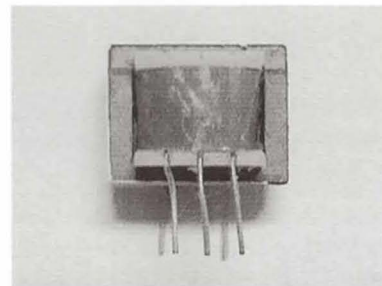


図17 トランスの実物図

6-2-4 スピーカ

スピーカのはたらきは、電気信号（電気の振動）を音（空気の振動）に変えることです。永久磁石、コイル、振動板からできています。

6-2-5 電池

アンプには電池のような直流の電源が必要です。交流信号を増幅するということは、直流電源からエネルギーをもらいその一部を交流に変換することで行われます。

6-3 アンプの製作

プリント基板の上に図12の回路図を見て配線します。この回路ではスピーカに流れる電流がまだ小さいためそれほど大きな音が出ません。大きな音にするのはもう一段アンプを接続する方法があります。

7. アンケート結果

平成9~12年度に以下のようなアンケートを行った。

平成〇年度 公開講座アンケート

- (1) 中学 何年生ですか？ (1年 2年 3年)
- (2) 出身地方はどこですか？
(北信 中信 東信 南信 県外)
- (3) この公開講座を何で知りましたか？
(パンフレット 先生 親 その他)
- (4) この公開講座に参加した動機は？ (2個以上の丸も可) (電子工作に興味があった 先生に勧められた 親に勧められた 学校を見学したい その他)
- (5) 講座の内容は？ (難しい やさしい 丁度良い)
- (6) 実習の指導の方法は？ (ていねい 不親切 ぶつう)
- (7) 適当な公開講座の日数は？ (1日 2日 3日以上)
- (8) 適当な公開講座の時期は？ (7月下旬 8月上旬 8月下旬)
- (9) 本校への受験を誰に勧められているか？
(自分 先生 親 その他)

図18~26に各アンケート結果を示す。

講座を受けてみた感想・意見を書いてもらった。

- (a) 解らないところを丁寧に教えてもらい、すごくわかり易かった。
- (b) 電源がないのに聞こえたのが良かった。自分で作れて楽しかった。
- (c) 自分で作ったラジオが聞いてとても感動した。
- (d) 今まで難しそうなおイメージがあったけど作ってみると思っていたより簡単で本みたいのを見ながら一人でできた。面白かった。
- (e) 身の回りのものでしかも簡単な回路で聞こえて

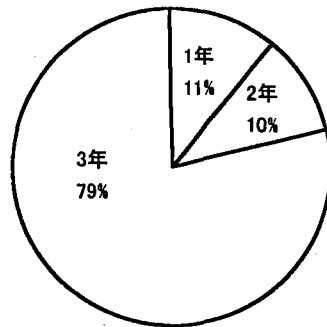


図18 アンケート(1)結果

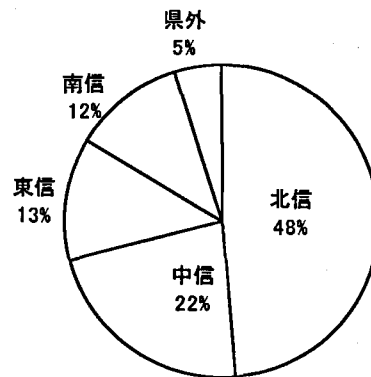


図19 アンケート(2)結果

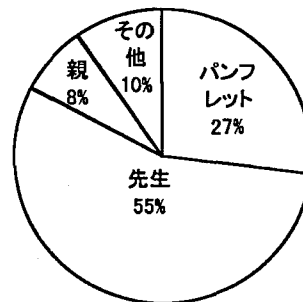


図20 アンケート(3)結果

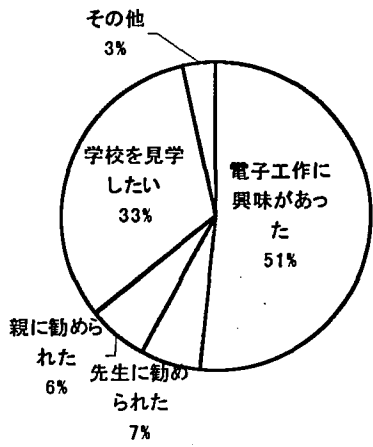


図 21 アンケート (4) 結果

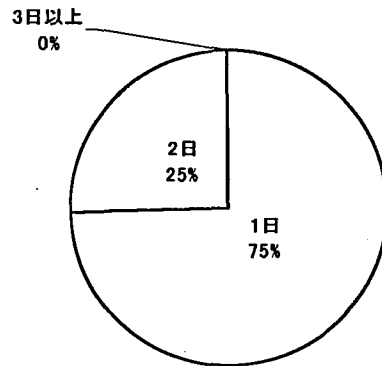


図 24 アンケート (7) 結果

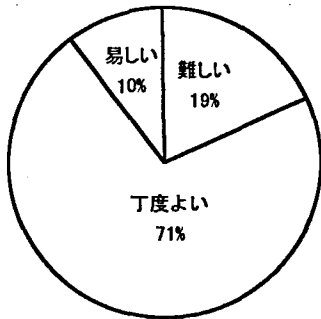


図 22 アンケート (5) 結果

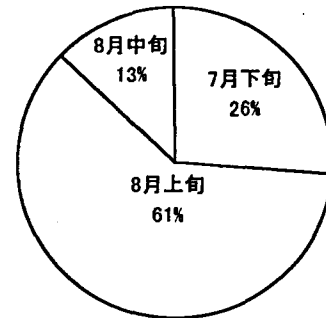


図 25 アンケート (8) 結果

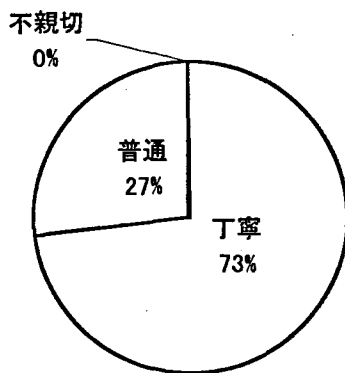


図 23 アンケート (6) 結果

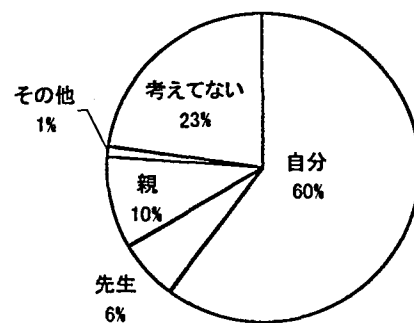


図 26 アンケート (9) 結果

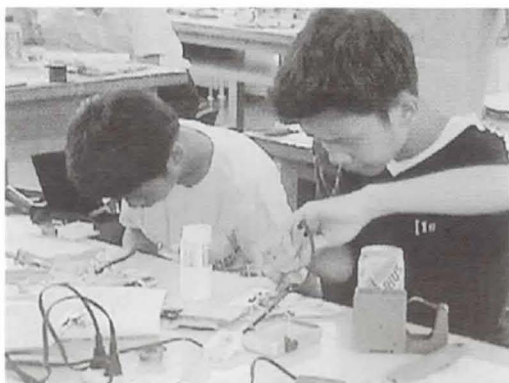


図27 ゲルマラジオを製作する受講生

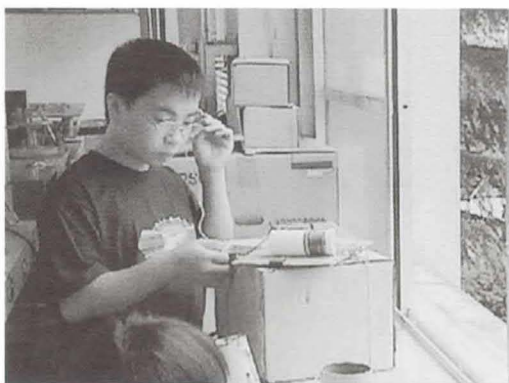


図28 ゲルマラジオを聞く受講生

よかった。聞くことができた。

- (f) 意外なものでラジオができるなあとと思った。
- (g) コイルのときに絡まったり切れたりしたけど、最後にはうまくいったので良かった。
- (h) 先生や先輩方の説明が良くわかった。
- (i) 少し難しかったが、いい勉強になった。
- (j) とても楽しかったです。先生や5年生の先輩方もとても親切でありがたかったです。暑い中でしたが、とても充実した一日になりました。
- (k) 理科や技術科の実習はとても好きなので今日は

とても面白かった。

- (l) 電子工作がもっと面白くなった。
- (m) アルミホイルや紙、導線などで本当にラジオができてしまって驚いた。
- (n) 思っていたより楽な気持ちで講座を受けられて良かった。周りの人に多くのことを教えてもらってとてもよかった。
- (o) 電気工学に興味湧いてきた。とても楽しかった。
- (p) 難しかったけど、時間を忘れるぐらい楽しかった。

公開講座の様子を図27, 28に示す。

8. む す び

アンケート結果からわかるように、中学生に電子回路の面白さと不思議さを体験してもらうという所期の目的はほぼ達成したと考えている。特に、身の回りにある意外な物がラジオの部品になることに対して多くの中学生が感動していた。

最近、中学生や高校生の理科離れが言われているが、その原因は身の回りの機器があまりにもブラックボックス化され、また高度化されており、その原理の追求を不可能なものにしていることが一つの原因と考えられる。そのような中で、もう一度原理に立ち返った今回のテーマは中学生にとって新鮮に写ったものと考えられる。今後も機会があればこのような興味を持たせるような教材を開発して行きたいと考えている。最後に公開講座を開くに当たってお世話になった関係各位に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 宮崎敬, 蔵之内真一, 柄澤孝一, 古川万寿夫, 松島久夫, 山田達朗: “公開講座「中学生のための電子工作教室」の実践報告—中学生に果たす役割—,” 長野工業高等専門学校紀要, 第29号, pp. 79-84, 1995.
- 2) 鈴木憲次: “手作り工作を楽しみながら学ぶ 高周波回路の設計と製作,” トランジスタ技術, 第2号, pp. 339-348, 1998.
- 3) 小林健二: “ぼくらの鉱石ラジオ,” 筑摩書房, 1998.