

# ゲルマニウムラジオに関する研究

～コンデンサとコイルを手作りして～

東京都町田市立成瀬台中学校3年

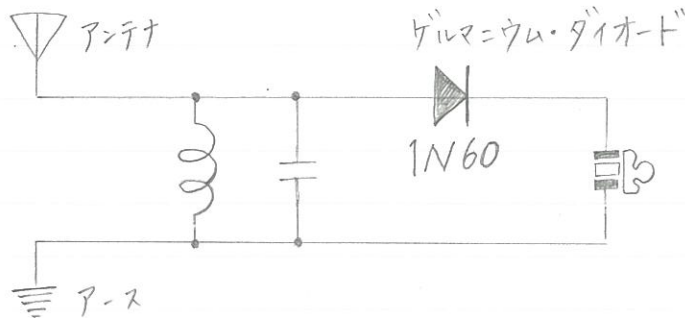
南雲 千佳

# 1 研究のきっかけ

以前、市販のキットを使って作ったゲルマニウムラジオでラジオ放送を受信できた時の感動から、又電池を使わずとも電波を受信できることに対して抱いた不思議さから、仕組みを研究しつら部品を手作りしてみたいと思った。

# 2 製作した回路

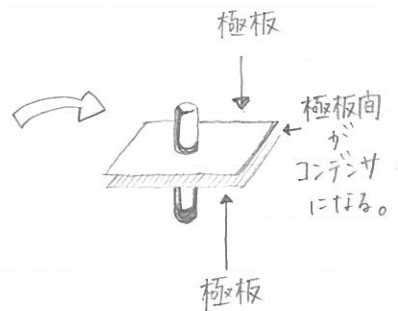
コンデンサ、コイル、アンテナは身近な材料を使って手作りした。



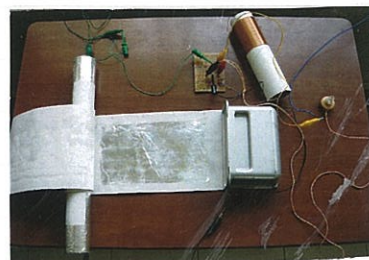
# 3 コンデンサとコイルの製作

[コンデンサ]

2枚の金属板(極板)を向かい合わせるとコンデンサになる。電池をつなぐと、片方の極板に+の電気が、もう片方に-の電気がたまる。蓄えられる電気は電圧に比例し、比例定数を静電容量という。



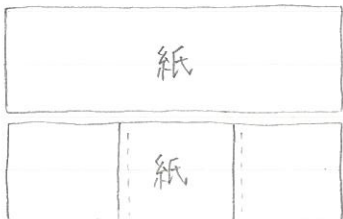
静電容量を自由自在に、又容易に変えられるように、巻き型コンデンサを製作した。



# ○ 巻き型 コンデンサ

ラップの芯の周りだけのみ極板が向かい合うように極板の紙を180°ずらして貼った。

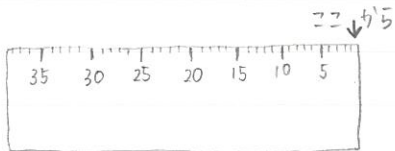
1



同じ長さの長い紙を2枚用意する。  
(紙を7つ折って長くしてもよい)

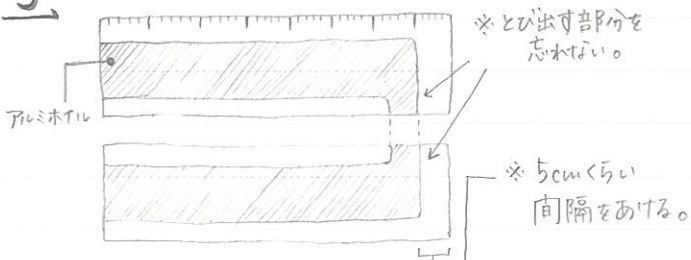


2



片方の紙に1cmずつ目盛りをかく。

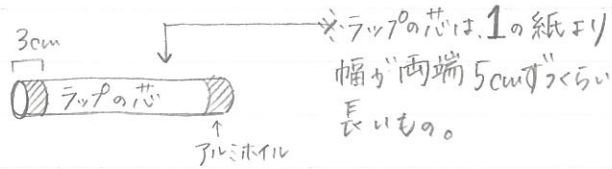
3



図のようにはアルミホイルを貼る。



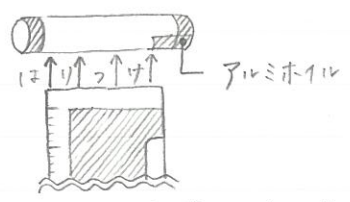
4



ラップの芯の両端に幅3cmくらいに切ったアルミホイルを巻く。



5.

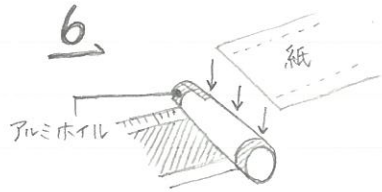


図のエッジに、ラップの芯の一方の端にアルミホイルを貼り、目盛りのある紙を貼りつける。

※ラップの芯・紙 それぞれに貼ったアルミホイルのとび出た部分が合わせるエッジに貼る。



6

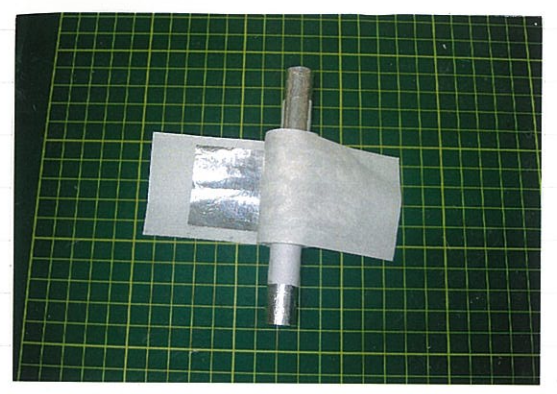
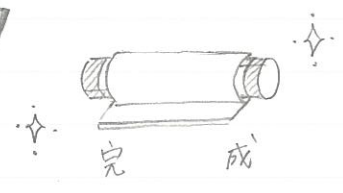


5の貼り付け位置から180°ずらして、ラップの芯のもう一方の端にアルミホイルを貼り、残りの紙を貼りつける。

※紙の向き(表裏)に注意する。

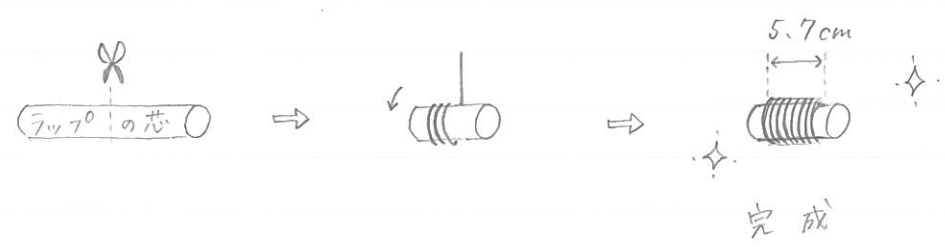


7



[コイル]

ラップの芯に直径0.5mmのエナメル線を103回巻いてコイルを製作した。





# 4 AM 放送の受信実験

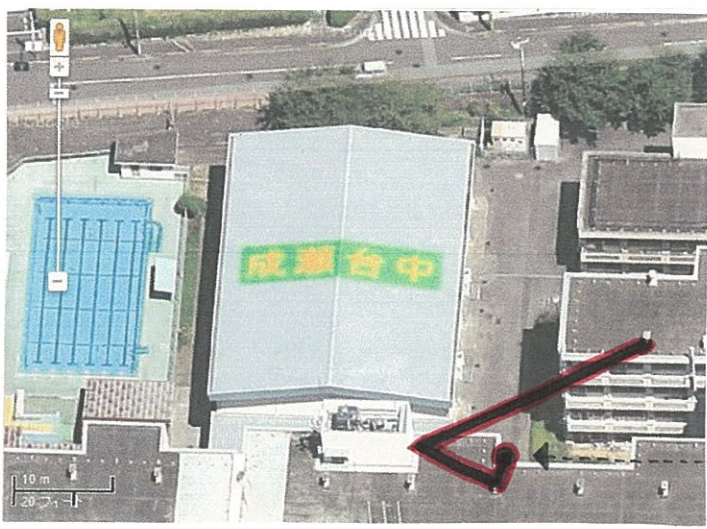


青いビニール電線 (屋上)

アンテナとして40mのビニール電線を張って聞いてみたところ、5局の放送を受信することができた。

## 受信できた放送

放送局名	周波数(kHz)	コンデンサ目盛り
NHK第1	594	30
NHK第2	693	24~25
AFN	810	14
TBSラジオ	954	8~9
ラジオ日本	1422	1~2



ここから  
7m 垂直に吊られ  
3Fの窓から中に入れた。

# 5 研究の手とめ

(1) コイルについての考察

● 公式にあてはめて自己インダクタンスを求めたところ、

長岡係数  $\lambda = 0.761$   
 $(\frac{2l}{r} = 0.70 \approx 1)$   
 コイルの芯の半径  $r = 0.02$  (m)  
 巻き幅  $l = 0.057$  (m)  
 巻き数  $N = 103$  (回)  
 真空の透磁率  $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$

$$L = \lambda \times \mu \times \pi r^2 \times \left(\frac{N}{l}\right)^2 \times l$$

$$= \frac{0.761 (4 \times 3.14 \times 10^{-7}) \times 3.14 \times 0.02^2 \times 103^2}{0.057} \text{ [H]}$$

$$= 223.441 \text{ [\mu H]}$$

$$= \underline{\underline{223 \text{ [\mu H]}}}$$

と判明、自己インダクタンスは 223 (μH) であることが分かった。

(2) コンデンサについての考察

○ 静電容量の理論的値

極板の面積・間隔・中にはさまれているもので決まる。

$$C = \frac{\epsilon \times S}{d} \text{ (F)}$$

$$= \frac{8.855 \times 10^{-12} \times 10 \times (\text{巻いた長さ} - 6) \times 2 \times 2}{0.0001 \times 10000}$$

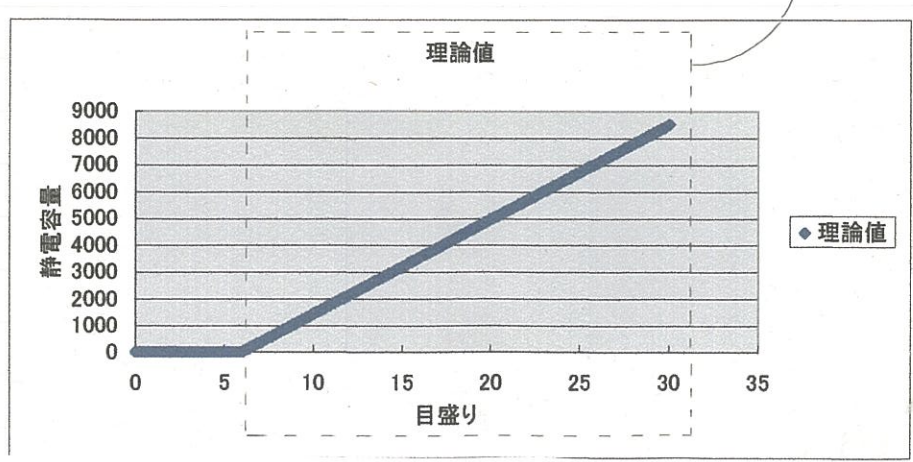
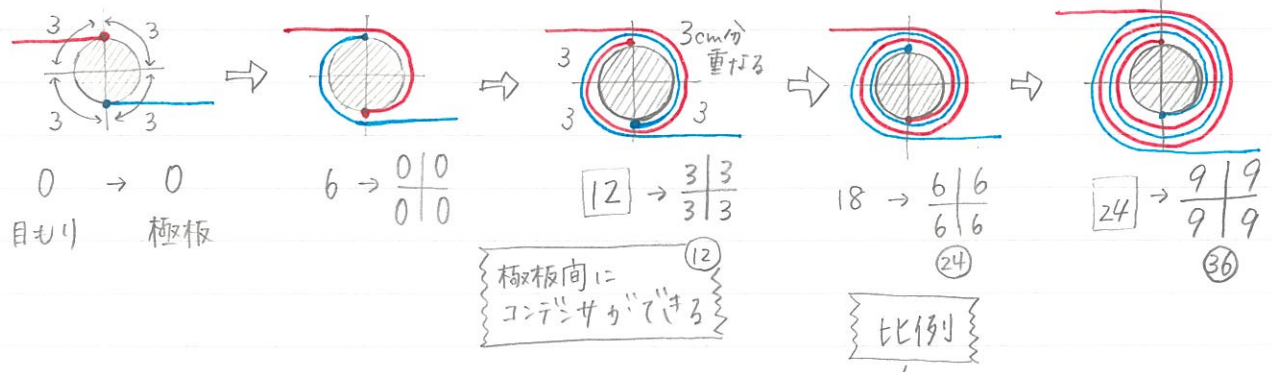
12cm 巻いたとき

$$= \underline{\underline{2125.2 \text{ (pF)}}}$$

紙

S = 面積 (m<sup>2</sup>)  
 d = 厚さ (m)  
 ε = 真空の誘電率  
 8.855 × 10<sup>-12</sup>

1周 12cm



## ○ 製作したコンデンサの静電容量の測定

測定器がなかったため、いろいろな方法で静電容量を測定してみた。

### ① < 放電時間による測定 >

コンデンサに同じ電圧を充電したとき、蓄えられる電気の量は静電容量に比例する。

例えば、コンデンサA (1[F]) とコンデンサB (2[F]) の両方に、1.5[V] の乾電池を接続すると、極板間の電圧は両方とも1.5[V] になるが、Bに蓄えられる電気の量はAの2倍になる。そこで同じ抵抗を接続して放電させれば、蓄えられた電気がなくなるまでの時間も静電容量に比例すると考え、次の実験を行った。

### 実験

1[MΩ] の抵抗を使って回路<sup>①</sup>を製作し、いろいろなコンデンサについて、2[V] から1[V] までの放電時間を測定した。

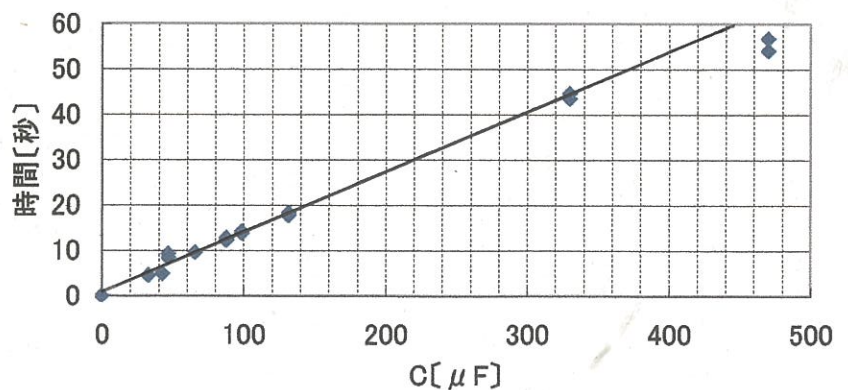
### 結果

<< 回路<sup>①</sup> >>



静電容量[μF]	時間[秒]
0	0
33	4.56
33	4.53
43	4.99
47	8.47
47	9.25
66	9.63
66	9.59
88	12.31
88	12.81
99	13.87
99	14.21
132	18.31
132	17.75
330	43.5
330	44.7
470	54.1
470	56.8

コンデンサの放電時間





**考察**

- 470 [μF] の放電時間を除くと、直線近似の相関係数が 0.992 と / に近くなるので、放電時間は静電容量に比例するといえる。
- 比例定数は 0.136 なので、別のコンデンサの放電時間を 0.136 で われば静電容量が求められる。
- 470 [μF] のように静電容量が大きくなると、漏れる電流が大きくなり、放電時間が短くなると思われる。
- 使ったテスター（三和電気製 U-70D）の針は、2 [V] の目盛りから 1 [V] の目盛りまで少くとも  $\frac{4}{30}$  秒かかるので、静電容量が 0.98 [μF] (980000 [pF]) 未満のコンデンサについては、この方法は使えない。したがって製作したコンデンサについても、この方法は使えない。

② < 抵抗とコンデンサの直列回路を使った測定 >

**実験**

製作したコンデンサを用いて  
図1のよう回路を作り、抵抗にかかる電圧  $E_R$  を測定した。

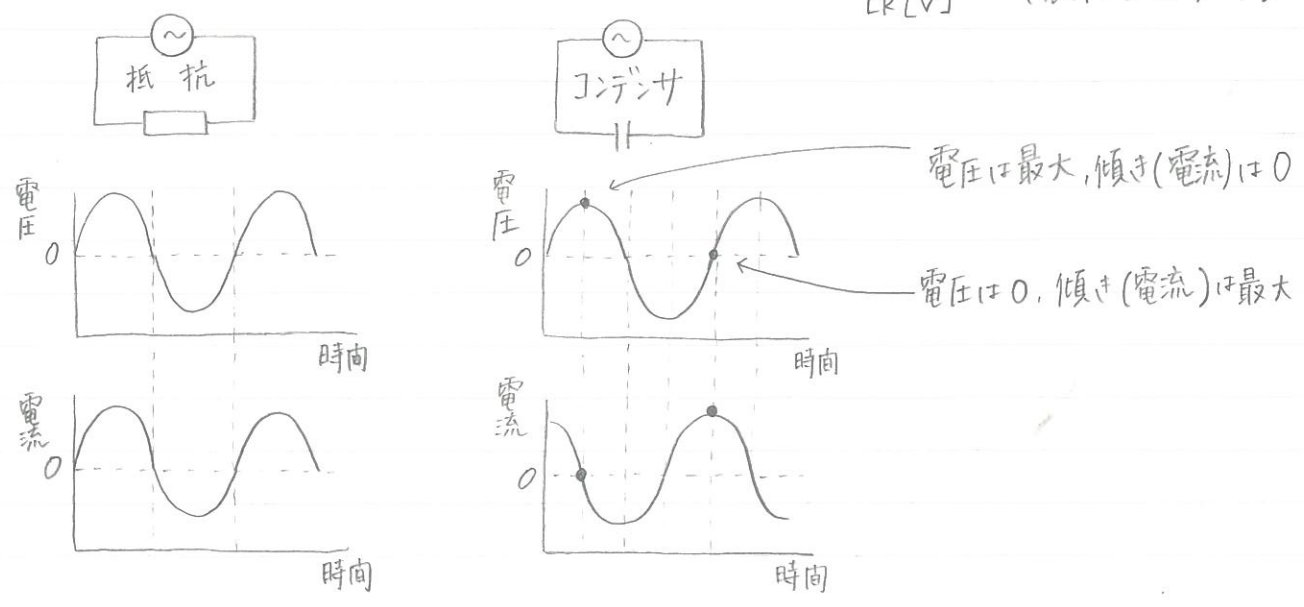
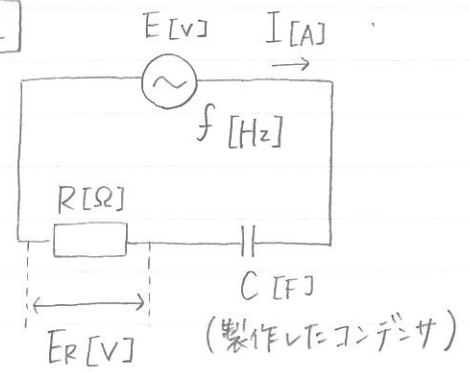
**結果**

図3のようになった。

**考察**

抵抗とコンデンサに交流電圧を加えると、電流は次のようになる。(参3)

図1





コンデンサの電流は電圧より  $\frac{1}{4}$  周期進んでいるが、  
抵抗の電流は進みも遅れもない。

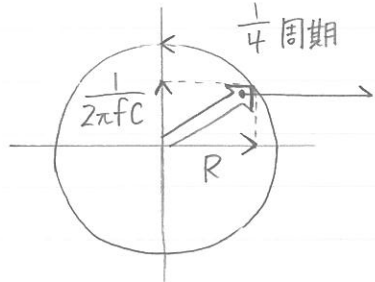


図1の合計の抵抗分

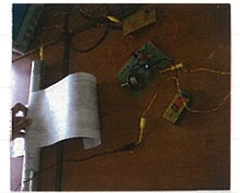
三平方の定理を利用して、

$$\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi f C}\right)^2}$$

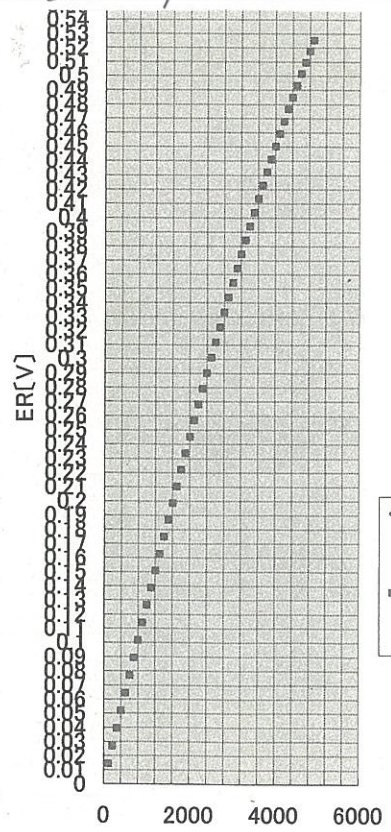
をたがって、

$$I = \frac{1}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi f C}\right)^2}} E$$

$$E_R = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi f C}\right)^2}} E$$



~~~~ の式を使って  $E = 1.0 [V]$ ,  $R = 20000 [\Omega]$ ,  $f = 1000 [Hz]$  とし  
いろいろ  $C$  の値に対する  $E_R$  の値を求めたところ 図2のようになります。  
また、製作したコンデンサの  $E_R$  を測定し、図2を用いて 静電容量を求めたところ  
図3のようになります。



◆ R(抵抗)が20000  
オームの場合 C  
(静電容量)  
■ R(抵抗)が20000  
オームの場合 ER

図2

図3

| 目盛り (cm) | $E_R$ | C    |
|----------|-------|------|
| 10       | 0.1   | 800  |
| 15       | 0.2   | 1600 |
| 20       | 0.3   | 2500 |
| 25       | 0.4   | 3400 |
| 30       | 0.5   | 4600 |

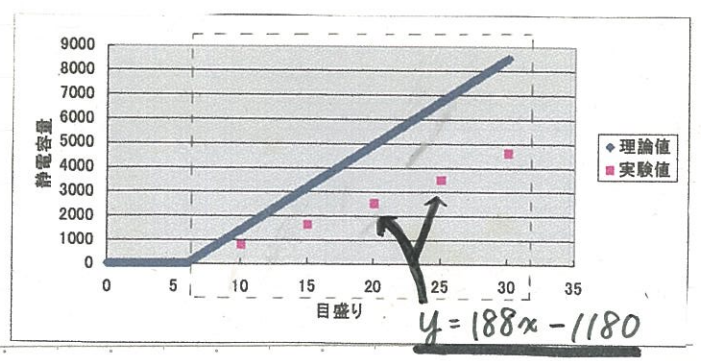
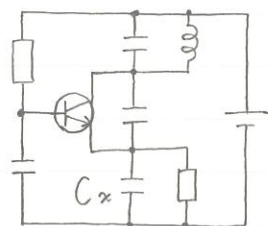


図3から製作したコンデンサの静電容量は極板の目盛りの値に比例するこ  
 が分かるが、比例定数は理論値より小さい。これは、アルミホイルにシワがあったり  
 アルミホイルと紙の間に接着剤があったりして、極板の間隔が0.1mmより広がっていることか原因と  
 考えられる。更に、電圧には分布があり、極板上の位置によって瞬間の電圧が異なることも原因と考えられる。

③ <発振回路を使った測定>

実験

右の図のようた発振回路の  $C_x$  を製作した  
 コンデンサにかえて、発振周波数を測定した。



結果

$C_x$  の静電容量の値を大きくしうとすると、発振が止まり、  
 発振周波数を測定することができなくなった。

考察

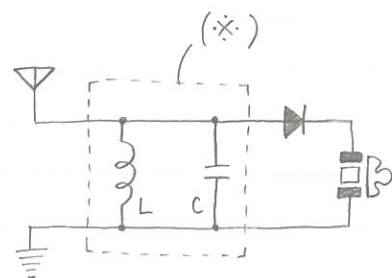
発振回路には発振するための条件があるが、<sup>(参2)</sup> 製作したコンデンサを使った場合、  
 その条件が成り立たなくなると考えられる。

(3) AM放送の受信実験についての考察

ゲルマニウムラジオの回路(右図)の(\*)部分は同調回路  
 と呼ばれ、周波数が共振周波数  $f$  [Hz] の信号のみを  
 ダイオードに通す。 $f$  は  $L$  [H] と  $C$  [F] の値によって決まり、

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

と表される。(参1)



$L = 223$  [ $\mu$ H] とすると、放送を受信することができたときの  
 $C$  の値は表1のようになる。

| 放送局   | 周波数[Hz] | $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ になる<br>$C$ [pF] | 巻き型コンデンサ<br>の目盛り | 抵抗とコンデンサの<br>直列回路による $C$ [pF] |
|-------|---------|-------------------------------------------|------------------|-------------------------------|
| NHK第1 | 594000  | 322                                       | 30               | 4460                          |
| NHK第2 | 693000  | 237                                       | 24 ~ 25          | 3426                          |
| AFN   | 810000  | 173                                       | 14               | 1452                          |
| TBS   | 954000  | 125                                       | 8 ~ 9            | 418                           |
| ラジオ日本 | 1422000 | 56                                        | 1 ~ 2            | (図3より)                        |

表1で  $1/2\pi\sqrt{LC}$  による C の値 (理論値) と抵抗とコンデンサの直列回路による C の値 (実験値) の間に差がある。これは、コンデンサやコイルが純粋なものでなく、流れる電流の周波数が高くなるほどリード線の コイル成分などの寄生成分が大きくなるためと考えられる。(参4)

寄生成分を考慮した同調回路は図4のようになり、又電子回路シミュレータを使って  $C_L, L, C_c$  の値を求めたところ表2のようになった。

図4

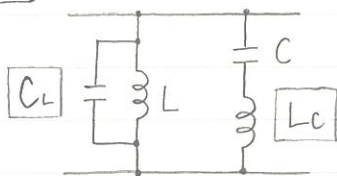


表2

| 放送局   | 周波数 [Hz] | $C_L$ [pF] | $L_C$ [nH] |
|-------|----------|------------|------------|
| NHK第1 | 594000   | 645        | 239        |
| NHK第2 | 693000   | 474        | 238        |
| AFN   | 810000   | 346        | 250        |
| TBS   | 954000   | 250        | 290        |

製作したコンデンサの極板を巻いて静電容量を増やしていく時、次のようになることが起こると考えられる。

- (1)  $C_L$  の値は製作したコンデンサの影響を受けて増えていく。
- (2) + 極板の電流と - 極板の電流は大きさが等しく向きが反対になる。  
このため磁気線を作るはずの向きを打ち消し合い、 $L_C$  の変化は大きくなるまい。

### 感想

今回の研究で製作した「巻き型」のコンデンサは新しい発想で、ラジオ放送を上手く受信することができると不安であったが、最終的に市販のキットのものに近いものに出来たと思う。材料や作り方を見直せば、もっと理論値に近づく結果となるのではないかと。

今までラジオのしくみなど考えたこともなかったもので、初めて知ることは慣れないことばかりで手間取る部分も多かったが、同時に新しい発見もたくさんあり、とても良い経験になった。ここで得た知識と発想力をいかしていこうと思う。

### 〈参考文献〉

- (1) 黒田 徹, 1石ポータブルラジオの製作, 実験と工作で学ぶエレクトロニクス, 85-90ページ, CQ出版社, 2001年
- (2) 押山, 相川, 辻井, 久保田, 改訂電子回路, コロナ社, 1995年
- (3) 平山 博, 電気回路論 (改訂版), オーム社, 1992年
- (4) <http://www.ni.com/white-paper/3078/ja/> 日本ナショナルインスツルメンツ(株)