

学びの杜  
電子工学探究講座講義資料

高校の物理からラジオへ  
— そして、ちょっとスマホへ —

古橋武

1

スマホは電波を介して情報を受発信します。すなわち、電波の受送信アンテナを持ち、同調、変復調回路を持っています。一方、ラジオは放送局が電波を介して情報を発信し、ラジオ受信機は受信アンテナ、同調、復調回路を持っています。スマホは双方向、ラジオは一方向、スマホの使用周波数はGHz帯、ラジオは主にMHz帯、スマホはデジタル情報を扱い、ラジオはアナログ情報を扱う、と違いはいろいろありますが、電波を介した情報の受信という視点からは、スマホもラジオも同じです。ラジオ受信機を理解することは、スマホを通信機の視点から理解する近道です。

また、高校の物理では電場、磁場、共振回路を学びます。丸暗記の対象になりかねないこれらの知識は、ラジオを通して理解すると生き生きとした知識に生まれ変わります。本講座では高校の物理と大学の電磁気学とのつながりを説明し、電波の仕組みを解説します。そして、AMラジオ放送、AMラジオ受信機の仕組みへと話を進め、実際にAMラジオ受信機の製作例を紹介します。

## 1. 地上波ラジオ放送はもう要らない？

### インターネットラジオ放送

スマホが使えるところならどこでも聴ける（地下鉄，ビルの中）  
AM放送でも音質が良い。

### 地上波ラジオ放送

地下鉄，ビルの中では聴けない。（FM放送はビルの中でも聴けることがある。）  
AM放送の音質は良くない。

2

最初の問いかけは「地上波ラジオ放送はもう要らない？」です。

ここで、地上波ラジオ放送とは地上を伝播する電波を介して聴くことのできるラジオ放送のことです。名古屋であれば、NHK第1(729kHz)、第2(909kHz)、CBCラジオ(1053kHz)、東海ラジオ(1332kHz)などのAMラジオ放送、ZIP-FM(77.8MHz)、RADIO-i(79.5MHz)、FM愛知(80.7MHz)、NHK-FM(82.5MHz)などのFMラジオ放送です。

今はインターネットの時代です。スマホでラジオ放送を聴くことができます。上記の放送の多くを「らじる★らじる」や「Radiko」のインターネットサイトから聴くことができます。スマホが使えるところならどこでも聴けます。地下鉄，ビルの中でもOKです。しかも、AM放送の音質は悪くありません。さらには、PODCAST等のサービスもあり、聴きたい番組を聴きたいときに聴くこともできます。

一方、地上波ラジオ放送は、地下や鉄筋のビルの中までは電波が届かないので、聴くことができません。（ただし、FM放送波はビルの中にある程度届きます。）また、AM放送は音質が悪く、音楽を楽しむのには向いていません。

もう時代遅れの地上波ラジオ放送は不要なのかなと思われます。かくいう筆者も普段はスマホでラジオ放送を楽しんでいます。

## 地上波ラジオ放送のメリット

### 大災害に強い.

#### 1. ラジオの放送局は災害に強い.

愛知県内のNHK第1の送信所は2カ所のみ.

送信所が活着ている限り聴ける.

しかも、何百万人でも同時に聴ける.

スマホはアクセスが集中すればダウンする. 近所の中継局が被災すれば使えなくなる.

#### 2. ラジオ受信機の電池は長持ちする.

つけっぱなしにしても電池交換の必要は無く、何

日でも聴ける.

スマホはすぐに充電が必要になる. 停電時には使えなくなる.

3

地上波ラジオには大災害に強いという大きなメリットがあります.

愛知県内にはNHK第1、第2の送信所が西部の弥富市と東部の豊橋市の2カ所にあります. ここがダメージを受けない限り、愛知県内では放送を聴くことができます. しかも、電波の届く限りの場所で、何百万人でも聴けます. 東北大震災では連絡網がずたずたになった状況に置かれた多くの被災者にとって、ラジオ放送が唯一の情報源だったとのこと.

スマホは皆が一斉にアクセスすると繋がらなくなってしまいます. 大災害時には誰もが情報を発信／受信しようとして、ネットシステムの容量を超えるアクセスをすることで、システムがダウンしてしまいます. また、近所の中継局が被災することによっても使えなくなります.

ラジオ受信機の電池は長持ちします. 特に旧来のアナログ・ラジオ受信機の消費電力は小さく、1日に数時間つけていても2週間、3週間と持ちます. スマホは消費電力が大きく、2日と電池が持たないでしょう. 停電時にはスマホはすぐ使えなくなってしまいます.

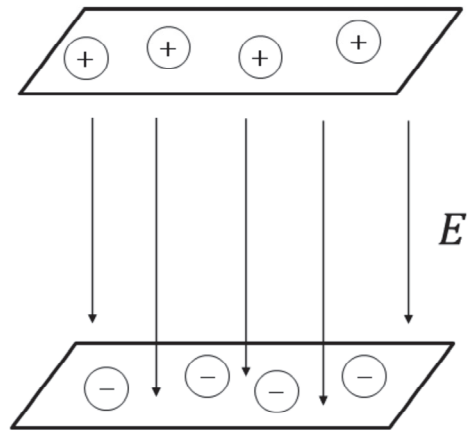
非常用に一家に一台地上波ラジオ受信機を備えておくことがお勧めです. 平成27年10月1日からは、空いたアナログテレビ用のチャンネルを利用して、AM放送と同じ内容をFMでも放送する「FM補完放送」が始まりました. CBC放送(AM: 1053kHz)ではFM: 93.7MHz, 東海ラジオ(AM: 1332kHz)ではFM: 92.9MHzなどです. FMの電波は遠くまで飛ばないので、FM放送のカバーエリアは狭く(例えば、<http://hicbc.com/radio/fm937/>), 地域密着型の災害情報の提供が期待されます.

## 2. 電波とは

高校の物理

電荷が作る電場

電荷が変化すると  
電場も変化する.



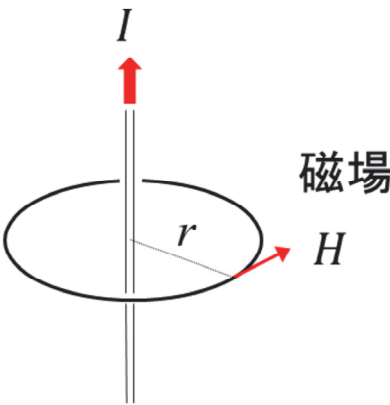
4

高校の物理では電荷が電場を作ること習います。図は平行に置かれた2枚の金属平板に電荷が蓄えられている状態を表します。上側の平板にはプラスの電荷が蓄えられ、下側の平板には極性の違う電荷が蓄えられているとします。このとき平板間には電場  $E$  が発生しています。

ここで何らかの方法で電荷を変化させると、電場  $E$  の強さも変化します。

高校の物理

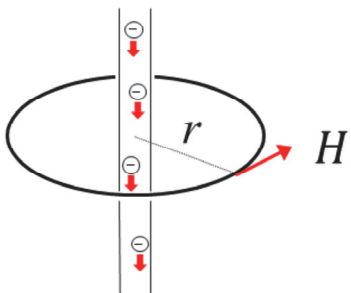
電流が作る磁場



磁場

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

電荷が移動すると  
磁場が発生する。



5

高校では電流が作る磁場を学びます。無限に長い直線導線に電流  $I$  [A] が流れていると、導線から距離  $r$  [m] 離れた円周上には上図に示す接線方向に大きさ  $H = I/(2\pi r)$  の磁場が発生します。電流は電子が導体内を移動することで観測される現象です。電流の向きと電子の向きは逆なので、下図に示すように上から下へと移動する電子群により磁場が発生します。

## 高校の物理

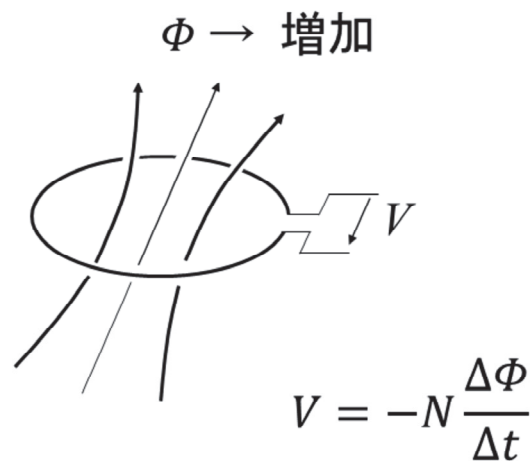
### ファラデーの法則

磁束が変化すると  
電圧が発生する.



## 大学の電磁気学

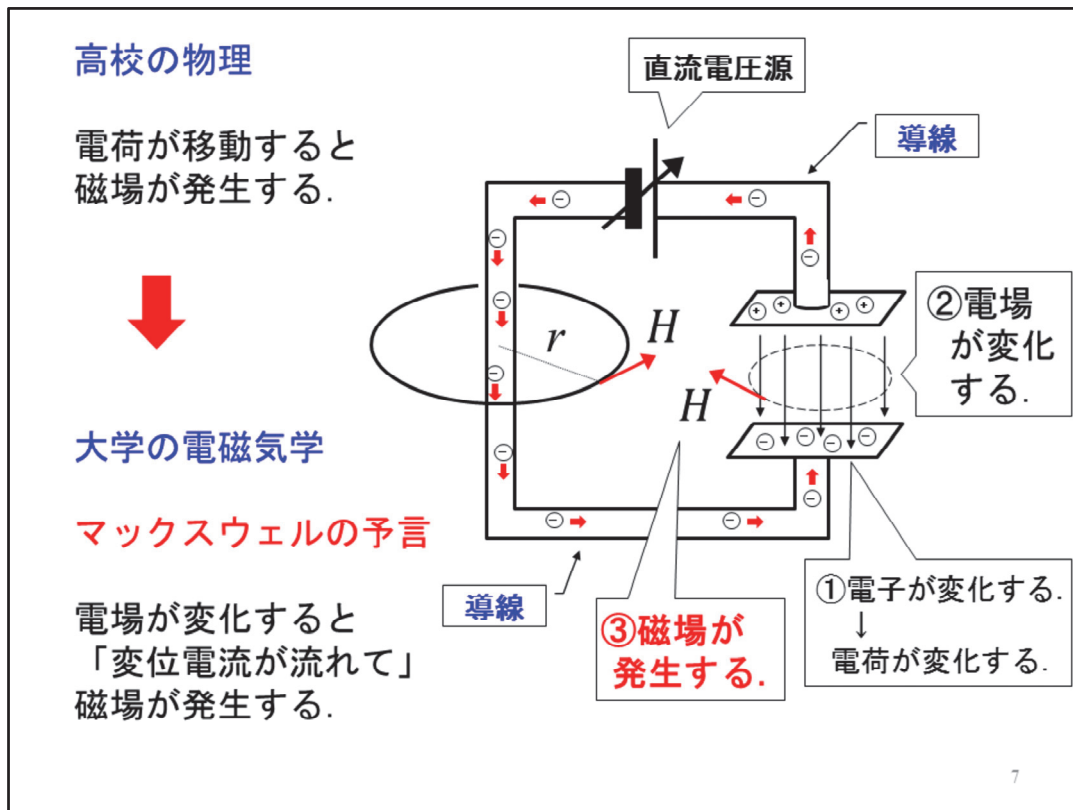
磁場が変化すると  
電場が発生する.



6

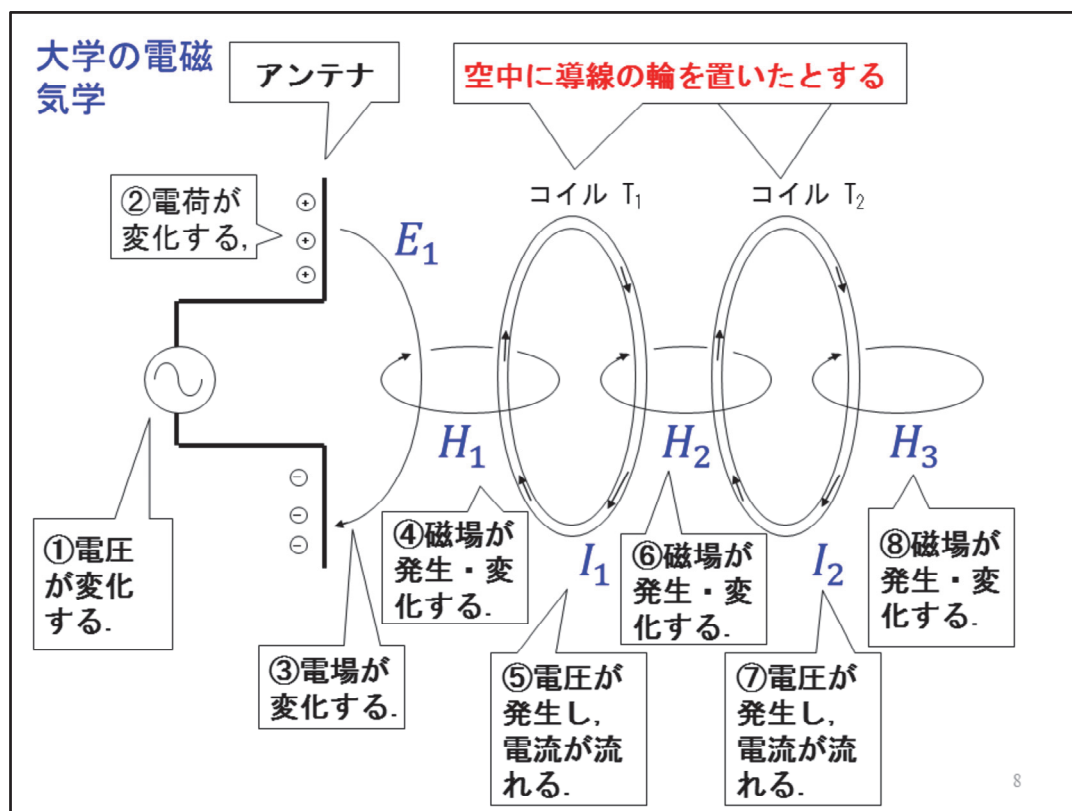
高校ではファラデーの法則も学びます。コイルに磁石を近づけたり遠ざけたりするとコイルに電圧が発生する経験則です。すなわち、コイルを貫いている磁束が変化すると電圧が発生します。コイルを貫く磁束を  $\Phi$  とし、これが微小時間  $\Delta t$  の間に  $\Delta\Phi$  だけ変化したとすると、コイルに発生する電圧  $V = -N (\Delta\Phi/\Delta t)$  となります。ただし、 $N$  はコイルの巻き数です。

大学ではこのファラデーの法則がコイルの存在に無関係に成立することを学びます。それは、磁場が変化すると電場が変化すると表現されます。



さて、2枚前のスライドで、電荷が移動すると磁場が発生することを見ました。図中の左側にその様子を示します。この電荷の移動は図中の上に挿入されている直流電圧源の電圧を変えることで引き起こされているとします。図中の右側には2枚の平行平板が置かれています。両平板と直流電圧源は導線によりつながられています。直流電圧源の電圧を変えると、①導線を通して電荷が移動することで両平板に蓄えられる電荷量が変わります。②電荷が変わるので対向した平板間の電場も変化します。

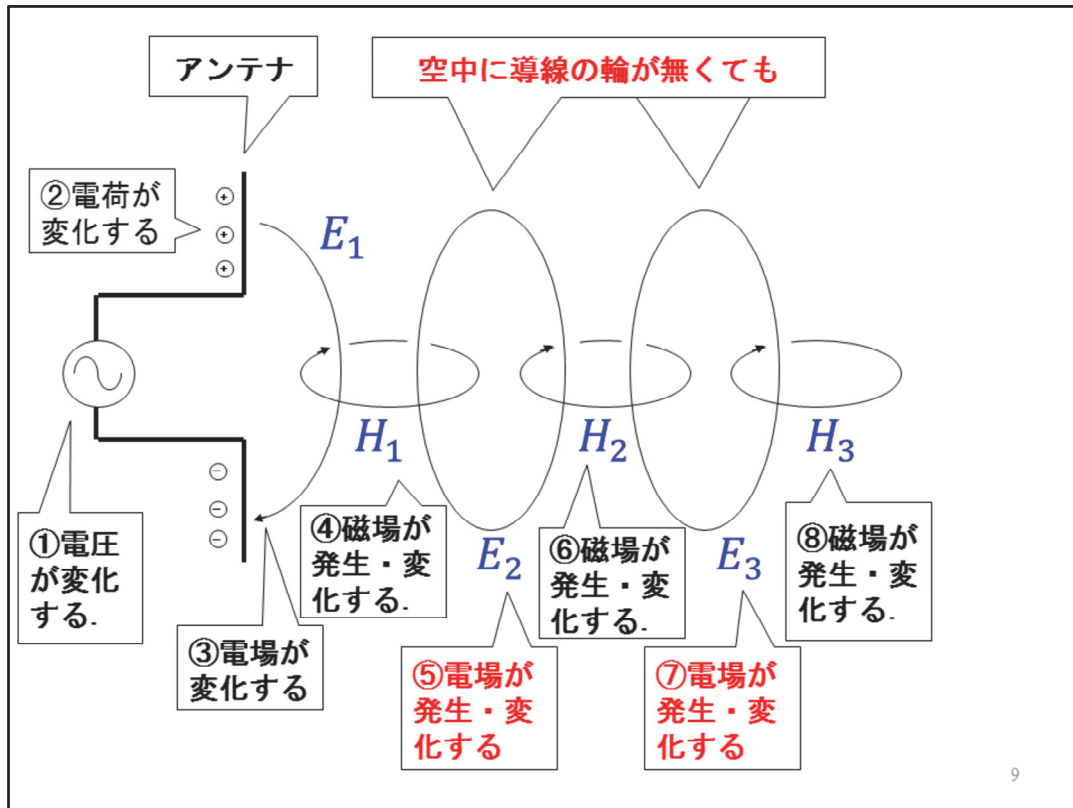
ここで大学の電磁気学ではマックスウェルの予言を学びます。すなわち、対向した平板間には電流は流れていないのですが、マックスウェルは、③電場の変化が電流に相当する働きをして磁場が発生することを予言しました。マックスウェルはこの電流に相当する働きをするものを「変位電流」と名付けました。この予言は後に多くの実験により正しいことが示されました。



これまでに、大学の電磁気学の内容として、「磁場が変化すると電場が発生する」こと、「電場が変化すると磁場が発生する」ことを紹介しました。この二つの場の相互作用により電波の伝わる様子を説明できます。

まず、図のように空中に仮想的に導線の輪(コイル)を二つ置いたとします。図の左端の電源電圧が変化したとします。この電源につながれた平板は同じ方向を向いているとします。①電源電圧の変化により、②この平板に蓄えられる電荷が変化します。③プラスとマイナスの電荷間には図のように楕円弧状の電場  $E_1$  が発生し、電荷の変化と共にこの電場  $E_1$  も変化します。④電場  $E_1$  が変化すると磁場  $H_1$  が発生します。そして、この磁場  $H_1$  は時々刻々変化する電場  $E_1$  により時々刻々変化します。⑤磁場  $H_1$  の変化によりコイル  $T_1$  に電圧が誘起され、電流  $I_1$  が流れます。⑥電流  $I_1$  により磁場  $H_2$  が発生します。⑦時々刻々変化する磁場  $H_2$  により、コイル  $T_2$  に電圧が誘起され、電流  $I_2$  が流れます。⑧電流  $I_2$  により磁場  $H_3$  が発生します。





空中に導線の輪(コイル)が存在しなくても、前スライドの

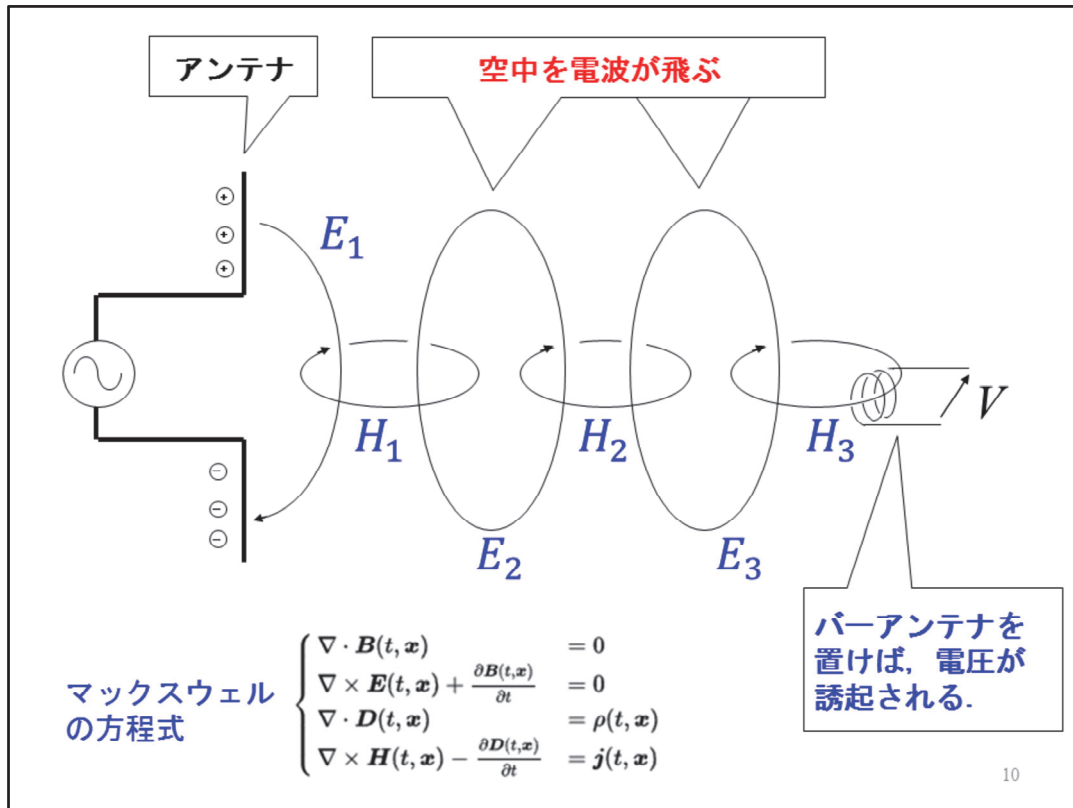
- ⑤磁場  $H_1$  の変化によりコイル  $T_1$  に電圧が誘起され、電流  $I_1$  が流れます。
- ⑥電流  $I_1$  により磁場  $H_2$  が発生します。
- ⑦時々刻々変化する磁場  $H_2$  により、コイル  $T_2$  に電圧が誘起され、電流  $I_2$  が流れます。
- ⑧電流  $I_2$  により磁場  $H_3$  が発生します。

を

- ⑤時々刻々変化する磁場  $H_1$  により電場  $E_2$  が発生・変化します。
- ⑥時々刻々変化する電場  $E_2$  により磁場  $H_2$  が発生・変化します。
- ⑦時々刻々変化する磁場  $H_2$  により電場  $E_3$  が発生・変化します。
- ⑧時々刻々変化する電場  $E_3$  により磁場  $H_3$  が発生・変化します。

と変更することで平板上の電荷の変化により、空中に電場と磁場が誘起され、それが空間を伝わっていく様子を説明することができます。

これが、電波が空中を伝わっていくイメージです。図左の二つの平板はアンテナと呼ばれます。



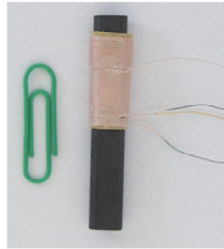
図中右端のように、磁場  $H_3$  が貫くようにコイルを置くと、時々刻々変化する磁場  $H_3$  により電圧  $V$  が誘起されます。このコイルは後述のラジオ受信機のバーアンテナです。

以上の電場と磁場の相互作用はマクスウェルの方程式にまとめられています。この方程式の理解が大学で学ぶ電磁気学のゴールの一つです。素晴らしく美しい式です。米国のマサチューセッツ工科大学(MIT)で売られているTシャツのロゴにもなっています。大学で電気工学を学ぶ学生の間では有名(?)な話でした。

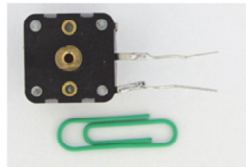
電磁波のあらゆる現象(ただし、量子的な電磁気現象は除きます。)をこれらの式で記述、解析できます。

### 3. 同調回路とは

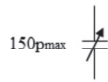
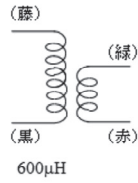
#### 高校の物理 直列共振回路



バーアンテナ

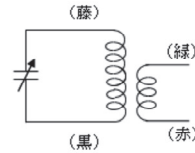


バリコン



共振周波数

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



バーアンテナ  
の巻線のイン  
ダクタンス

バーアンテナ  
の巻線の抵抗

バーアンテナ  
の誘起電圧

直列共振回路

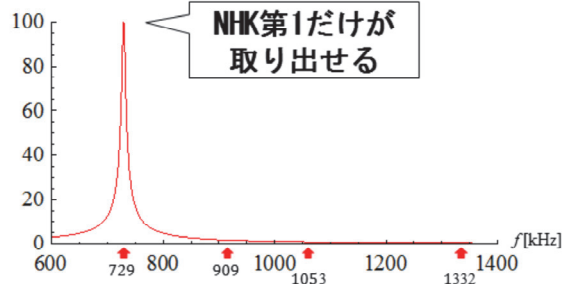
バリコンの静  
電容量

さて、ラジオ受信機と同調回路の話です。同調回路はバーアンテナとバリコン(バリコン)からなります。それぞれの写真と記号を示します。バーアンテナには2種類のコイルがあります。巻き数の多い方のコイルが共振回路用です。バリコンには端子が3つありますが、使用する端子は写真の向きで下2つの端子です。バリコンの記号には、通常のコデンサの記号(2枚の平行平板を表しています。)に矢印がつけられています。矢印は静電容量を変えられることを意味します。本資料の最後のスライドに本講座で製作するラジオ受信機の部品リストを載せてあります。バーアンテナとバリコンは電子パーツ通販KURA (<http://www.kura-denshi.com/>)から購入できます。バーアンテナのコイルの端子は巻き線に塗られた色で見分けられます。藤色と黒色の端子をバリコンの端子とつなぐことで、右上の図のような共振回路を構成できます。

この共振回路は高校の物理で習う直列共振回路です。共振回路の等価回路を図右中に示します。誘起電圧は、バーアンテナを前スライドに示したように空中に置くことで得られます。 $L$  [H]はバーアンテナのインダクタンス、 $C$  [F]はバリコンの静電容量、抵抗 $R$  [ $\Omega$ ]はバーアンテナの巻線(コイル)が持っている抵抗です。高校の物理で、この回路の共振周波数 $f$  [Hz]は $f = 1/(2\pi\sqrt{LC})$ により与えられると習います。なお、インダクタンスの単位はヘンリー、静電容量の単位はファラド、抵抗の単位はオームです。

## 大学の電気回路学

### 直列共振回路



共振回路の周波数特性の例

$$\begin{aligned} L &= 600 \text{ } [\mu\text{H}] \\ C &= 79.4 \text{ } [\text{pF}] \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \\ &= \frac{1}{2\pi\sqrt{600 \times 10^{-6} \times 79 \times 10^{-12}}} \\ &= 729 \text{ } [\text{kHz}] \quad \text{NHK第1 名古屋} \\ C &= 51.1 \text{ } [\text{pF}] \quad \rightarrow \quad f = 909 \text{ } [\text{kHz}] \quad \text{NHK第2 名古屋} \\ C &= 38.1 \text{ } [\text{pF}] \quad \rightarrow \quad f = 1053 \text{ } [\text{kHz}] \quad \text{CBCラジオ} \\ C &= 23.8 \text{ } [\text{pF}] \quad \rightarrow \quad f = 1332 \text{ } [\text{kHz}] \quad \text{東海ラジオ} \end{aligned}$$

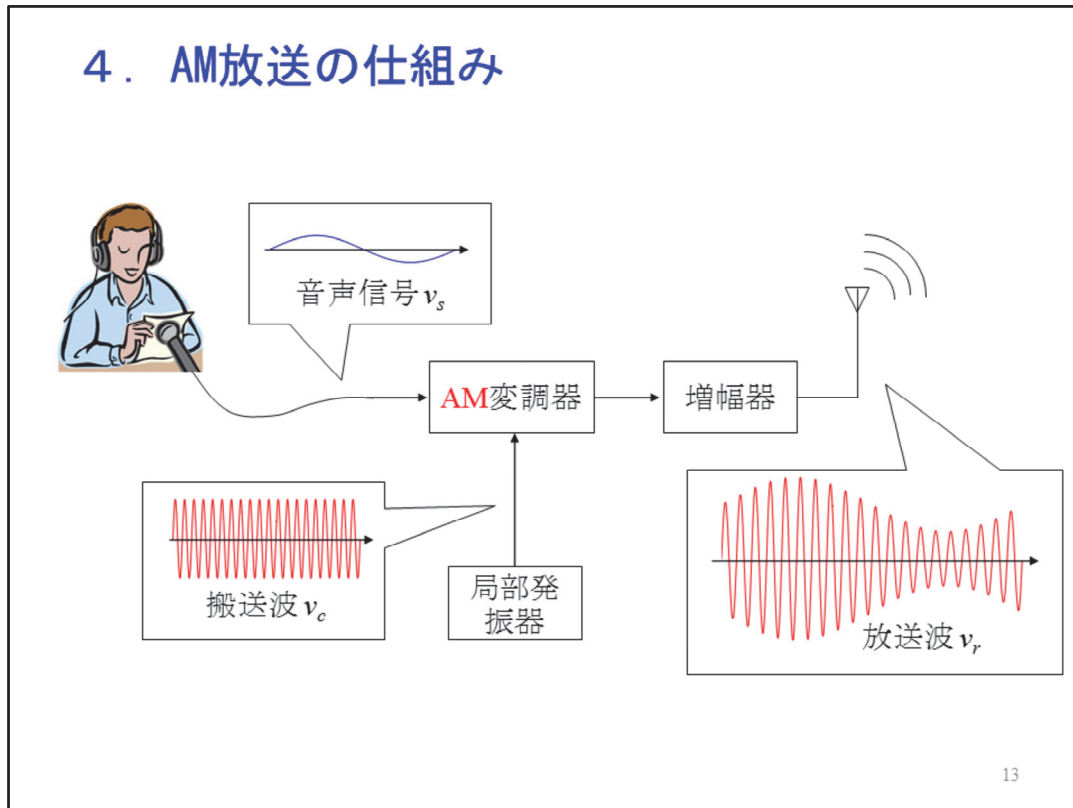
12

KURAが販売しているバーアンテナのインダクタンスの定格は 600 [μH]です. μはマイクロとよみ, 10<sup>-6</sup>を意味します. ポリバリコンの静電容量は20~150 [pF]の間を変化するように作られています. pはピコとよみ, 10<sup>-12</sup>を意味します.

今,  $L = 600 \text{ } [\mu\text{H}]$ ,  $C = 79.4 \text{ } [\text{pF}]$ ,  $R = 27.5 \text{ } [\Omega]$ とすると, 共振周波数  $f = 729 \text{ } [\text{kHz}]$ となります. これはNHK第1(名古屋)の放送周波数です. このとき前スライドの等価回路のバーアンテナの誘起電圧の振幅を1 [mV](一定)にして, 周波数を600~1400[kHz]の範囲で変えたとすると, コイルの両端に現れる電圧の振幅は図示のようになります. 共振周波数では, コイルの両端電圧の振幅はバーアンテナに誘起された電圧振幅の100倍の100[mV]となります. 909[kHz]はNHK第2(名古屋), 1053[kHz]はCBCラジオ, 1332[kHz]は東海ラジオの放送周波数です. これらの放送電波もバーアンテナは捉えているので, バーアンテナにはこれらの放送電波による電圧も同時に誘起されています. しかし, これらの電圧振幅は小さいままです. 同調回路のコイルの両端ではNHK第1(名古屋)の放送電波のみが大きくなっています.

バリコンの静電容量を変えて,  $C = 51.1 \text{ } [\text{pF}]$ とすると, 共振周波数  $f = 909 \text{ } [\text{kHz}]$ ,  $C = 38.1 \text{ } [\text{pF}]$ ,  $23.8 \text{ } [\text{pF}]$ とすると, 共振周波数はそれぞれ  $f = 1053 \text{ } [\text{kHz}]$ ,  $1332 \text{ } [\text{kHz}]$ となります. バリコンの静電容量を変えるだけで, 各放送電波のみを取り出すことができます. このように特定の放送周波数に共振周波数を合わせることを同調と呼びます.

## 4. AM放送の仕組み

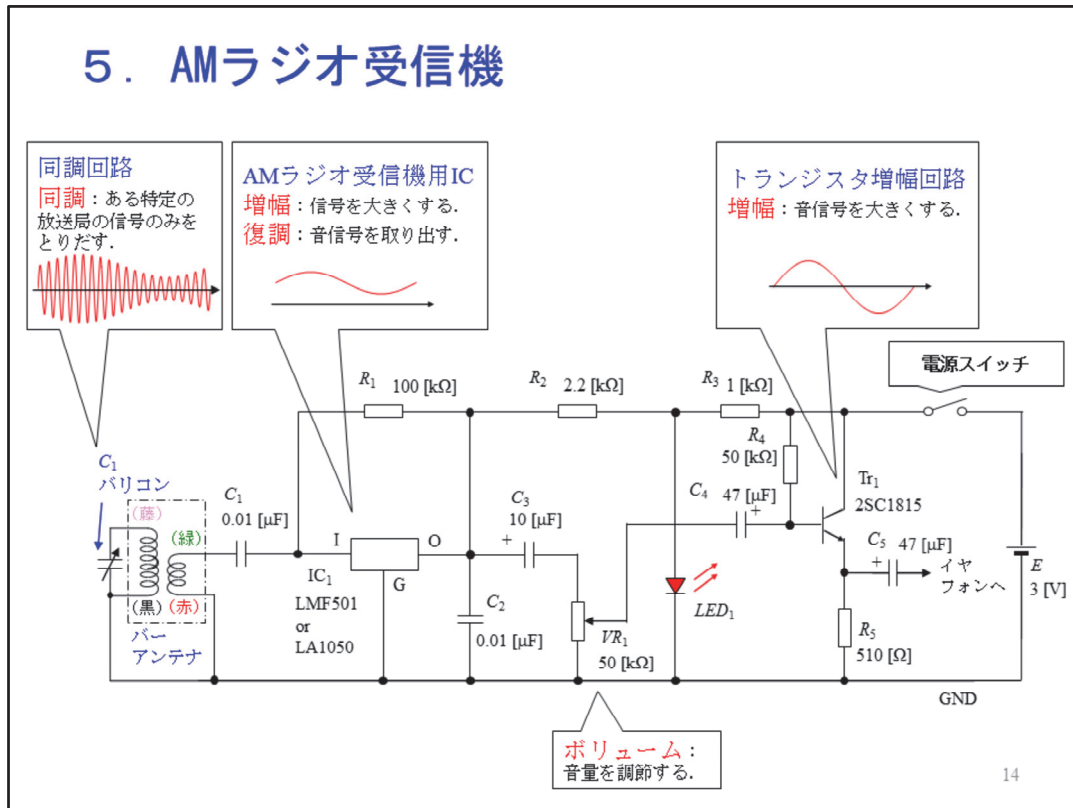


AMはAmplitude Modulation(振幅変調)のイニシャルです。ラジオ放送において送りたいのは音情報です。しかし、音の周波数は数10[Hz]~20[kHz]と低く、そのまま電波として飛ばすことは難しいです。そこで、例えばNHK第1(名古屋)の場合では729[kHz]の高周波信号を発生させ、その振幅を音声信号により変化させます。729[kHz]の高周波信号を電波として飛ばすことはなんとかなります。

電波は光の速さで移動するので、この場合の波長は $300000 \text{ [km]}/729 \text{ [kHz]} = 411 \text{ [m]}$ です。アンテナの長さを波長の約1/2にすると効率よく電波を送り出すことができます。弦の振動を高校の物理で習います。弦の長さ $L$ が波長の1/2のとき、定常波ができることと同様の現象です。約200[m]のアンテナを立てることはなんとかなっています。(音声のままでは $300000 \text{ [km]}/1 \text{ [kHz]} = 300000 \text{ [m]}$ です。)実際には、<http://tower.30maps.com/>によるとNHK第1(名古屋)のアンテナの高さは170[m]です。アンテナの頂に頂環と呼ばれる構造物がつけられていますが、これにより1/2波長より少し短い高さで済むように造られています。また、CBCラジオの場合では $300000 \text{ [km]}/1053 \text{ [kHz]} = 285 \text{ [m]}$ です。1/2波長は142[m]です。<http://tower.30maps.com/>によるとCBCラジオの放送塔は130[m]です。

729[kHz]の信号は音声を載せて運ぶための信号であるため、搬送波と呼ばれます。搬送波の振幅を音声信号により変化させることはAM変調と呼ばれます。右端の放送波が、AM変調された放送波のイメージ図です。

## 5. AMラジオ受信機



いよいよラジオ受信機の説明です。図は本講座で作るラジオの回路図です。いきなりではこれが何なのかは分かり難いと思います。以降では各部品について写真付きで説明します。

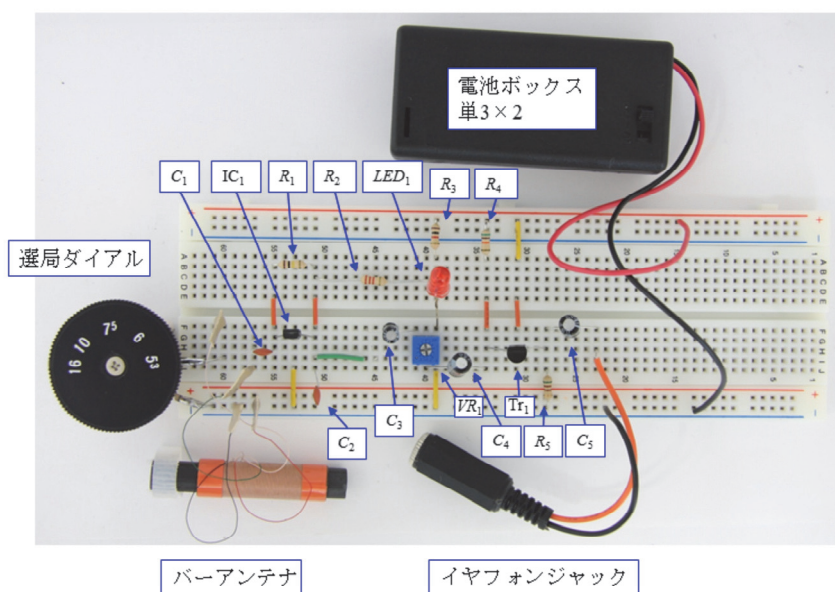
このスライドではラジオ受信機内の主な信号の流れと、各回路の働きの概要を述べます。図左端のバーアンテナとバリコンが同調回路です。バーアンテナの巻き数の少ない方のコイルの緑色の端子をコンデンサ  $C_1$  を介してAMラジオ受信機用ICの入力端子Iにつなぎます。

AMラジオ受信機用ICは同調回路から得られた微弱な信号を大きく(増幅)し、音信号を取り出し(復調)します。この復調信号はICの出力端子Oからボリューム  $VR_1$  に送られます。なお、AMラジオ受信機用ICはLMF501、LA1050のどちらを用いても良いです。LMF501はKURAから通販により購入可能です。LA1050もグーグル検索により取り扱っているサイトを見つけることができます。筆者は名古屋大須の電子部品の中古販売店でLA1050を入手しました。

ボリュームは音量を調節するための部品です。本講座では小さな可変抵抗器をボリュームとして使います。小さなスクリュードライバー(ねじ回し)により可変抵抗器のつまみをまわすことで、イヤフォンから聞こえてくる音量を調節できます。ボリュームにより大きさを調節された音信号はトランジスタ増幅回路に送られます。トランジスタは2SC1815を用いています。この回路は音信号を大きく(増幅)し、イヤフォンを駆動するために必要です。

回路のほぼ中央にあるLEDは電源ランプです。LEDはLight Emitting Diodeのイニシャルです。電源スイッチを投入するとこの電源ランプ  $LED_1$  が点灯します。

## AMラジオ受信機の写真



15

AMラジオ受信機の写真を示します。本講義ではラジオ受信機の配線にブレッドボードを利用します。全ての部品はブレッドボードに差し込むだけです。バリコンは選局ダイヤルの陰にあります。個々の部品がどのように繋がっているかは、写真では分かり難いので、次の立体配線図に示します。

## AMラジオ受信機の立体配線図

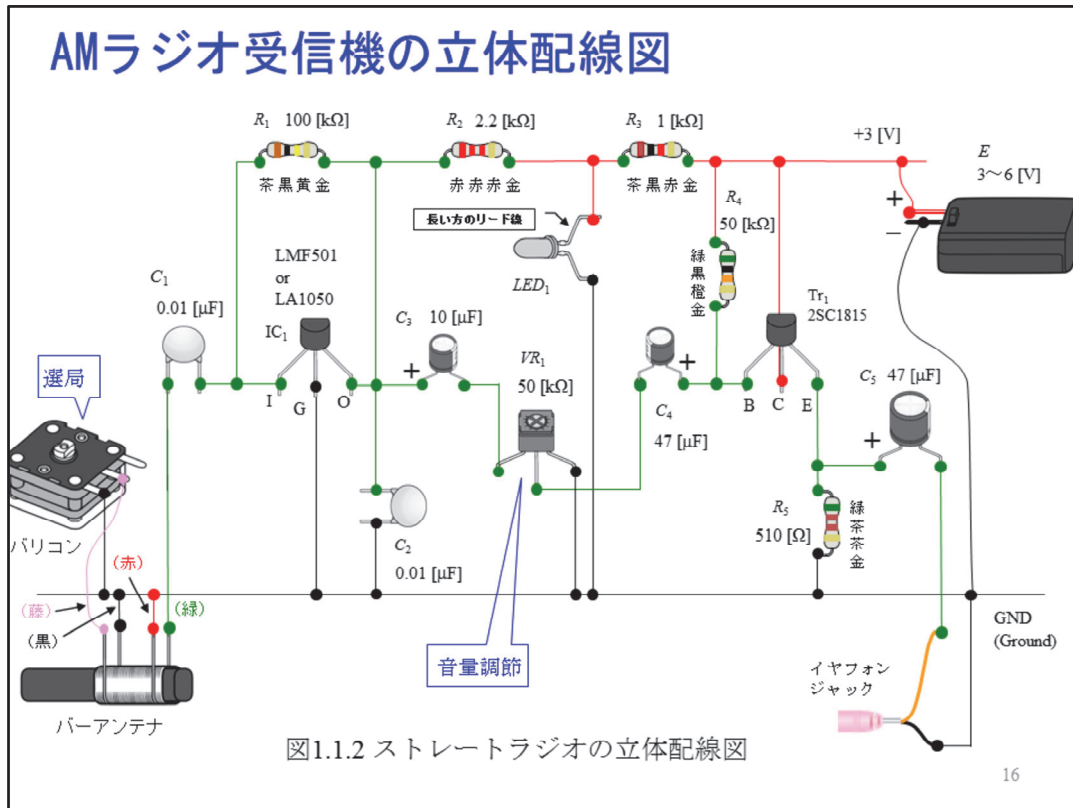


図1.1.2 ストレートラジオの立体配線図

16

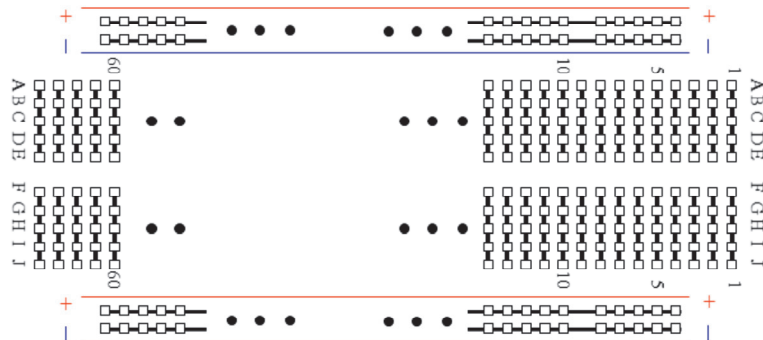
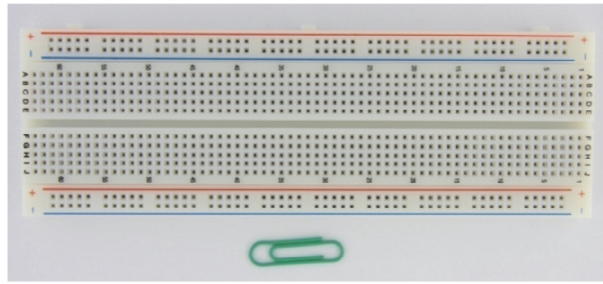
AMラジオ受信機の立体配線図です。部品の外観と端子間の配線の様子を示してあります。後述の個々の部品の説明と合わせて読み進めてください。ICおよびトランジスタ  $Tr_1$  の電極をよく確認してからブレッドボードに挿入してください。図示の向きで、 $IC_1$  は左からI (Input), G (Ground), O (Output)です。 $Tr_1$  は左からB (Base), C (Collector), E (Emitter)です。LEDにも向きがあります。LEDの向きはリード線の長さで分かるように作られています。リード線の長い方がアノード側です。線の長い方(アノード側)を図の上側につなぎます。抵抗の抵抗値は色(カラーコード)で表記されています。そこで、立体配線図には抵抗を色つきで描いてあります。また、電解コンデンサ  $C_3 \sim C_5$  には極性があります。コンデンサの円筒上に白い帯が印刷されている側がマイナス側です。電界コンデンサはプラス・マイナスを逆にすると長い間つないでくと「爆発」する恐れがあります。気をつけてください。●印がついている交差点の線同士はつながっています。●印のない交差点では線同士はつながっていません。LEDのカソード側(図の  $LED_1$  の下側の端子)から電池のマイナス側(GND: Ground)への線とボリューム  $VR_1$  の真ん中の端子からコンデンサ  $C_4$  への線は交差していますが、つながってはいません。

バリコンの上部には可動部分があります。ここに前スライドの写真のようにバリコン用ダイヤル(選局ダイヤル)をねじ止めします。このダイヤルを回すことで放送局を選ぶことができます。また、ボリューム  $VR_1$  の上部にも可動部分があります。ここにねじ回し(プラスチックドライブ、マイナスイヤホンジャックのどちらでもよいです。)を差し込んで回転させることでイヤホンの音量を調整できます。



## 6. AMラジオ受信機の部品

ブレッド  
ボード

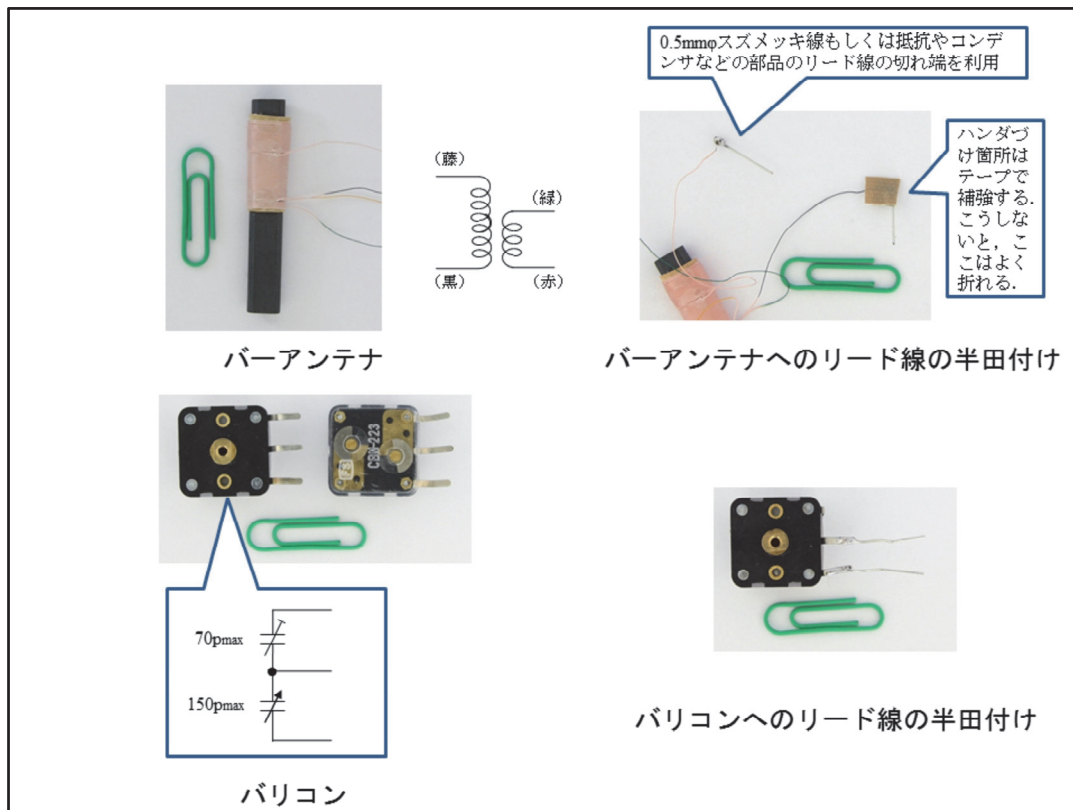


ブレッドボードと穴のつながりの様子

17

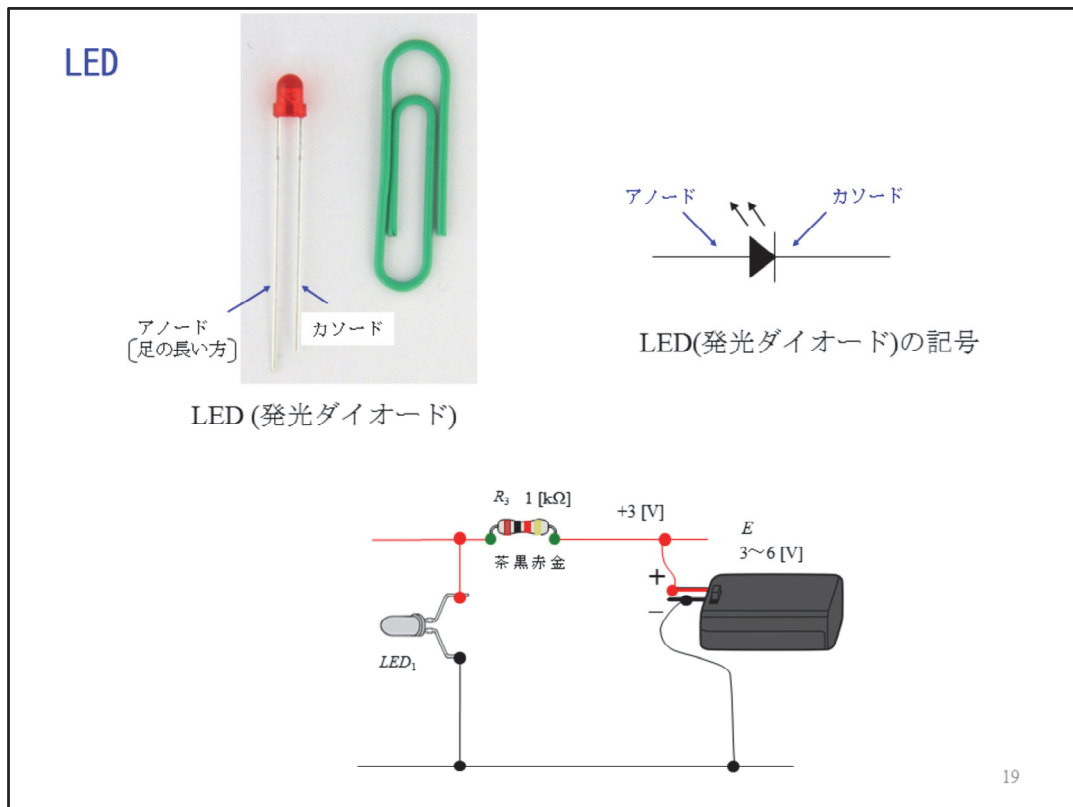
ここからは個別部品の説明です。

本講座では回路製作をブレッドボード上で行います。図はブレッドボードの外観写真(上)とボード上の穴のつながり(下)を示します。下の図で□は部品のリード線を差し込む穴です。黒い線は穴同士がつながっていることを示しています。一番上の2行と一番下の2行では、同じ行内の50個の穴は全てボード内部でつながっています。これら4行の間にある穴は列方向につながられています。例えば1列目(一番右の列)のABCDEの5個の穴が、また、FGHIJの5個の穴がそれぞれつながられています。同様に各列において5個ずつがつながられています。

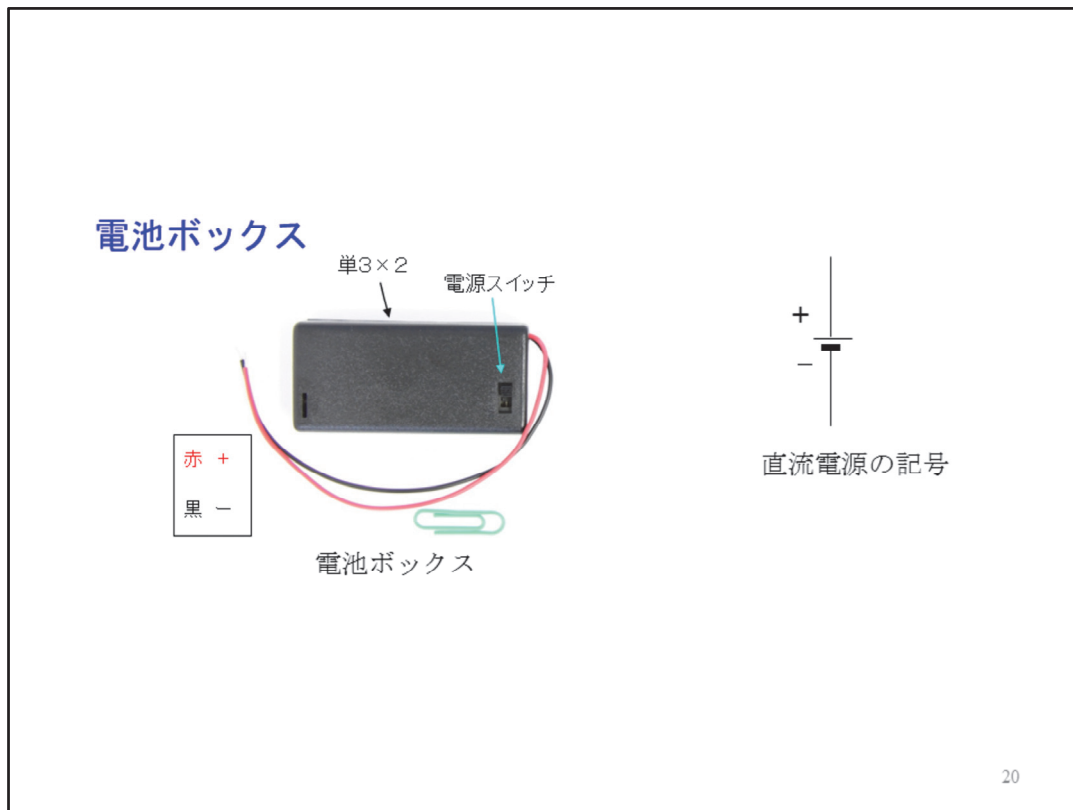


バーアンテナとバリコンにリード線を半田付けした様子を示します。バーアンテナの巻き線はとても細くて、ブレッドボードの穴に差し込んでも緩すぎてすぐに抜けてしまいます。そこで、直径0.5mmのスズメッキ線をバーアンテナの巻き線の先端の金属部分に半田付けします。スズメッキ線を購入する必要はありません。抵抗やコンデンサのリード線の切れ端を利用できます。抵抗やコンデンサのリード線はボードに差し込むには十分な長さがあるので、それぞれ適当な長さに切って用いると良いです。右側の写真はリード線の切れ端をハンダ付けした例です。また、バーアンテナの巻き線の先端の被覆が剥がれた部分は細くてもろいため、ハンダ付け後に写真のようにガムテープではさんで補強する必要があります。こうしないと、何度かボードに抜き差ししている内に、巻き線の先端とリード線の間で折れてしまいます。

バリコンは電極が3つありますが、右下の写真のように下2つの電極にリード線の切れ端をハンダ付けしてボードに差し込めるようにします。

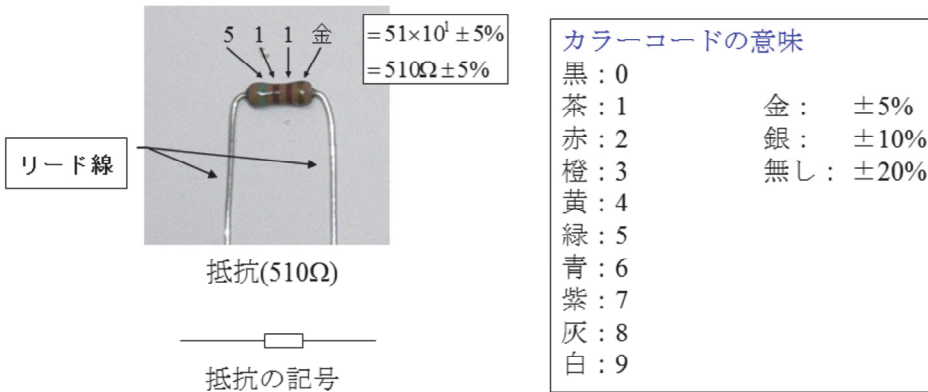


LEDはLight Emitting Diode(発光ダイオード)のイニシャルです。上側に外観写真と記号を示します。LEDには向きがあります。上右の図のように電極にはアノードとカソードの名前がつけられています。アノードからカソードに電流が流れるとLEDは発光します。LEDの回路の動作は、ラジオ受信機の立体配線図において、下側の図に示す部分のみを作ることによって確認できます。LEDの向きを間違えていなければ、電池ボックスのスイッチを入れることでLEDが点灯します。LEDの向きを間違えていると、スイッチを入れても何も起きません。また、LEDは壊れません。LEDの向きが正しい場合で、かつ、抵抗  $R_3$  を忘れてLEDと電池を直接つないでしまうと、LEDは瞬時に壊れます。この場合には、LEDには耐えられないほどの電流が流れてしまいます。1 [kΩ]の抵抗はLEDに流れる電流の調整の働きもあります。(抵抗  $R_3$  とLED ( $LED_1$ ) によりを定(低)電圧源と電源ランプの2重の使い方がされています。)



電池ボックスの写真と直流電源の記号を示します。電池ボックスは赤い線がプラス側、黒い線がマイナス側です。電池の記号では細くて長い電極がプラス側で、太くて短い電極がマイナス側です。電池ボックスはスイッチ付きのものを購入すると便利です。

## 抵抗

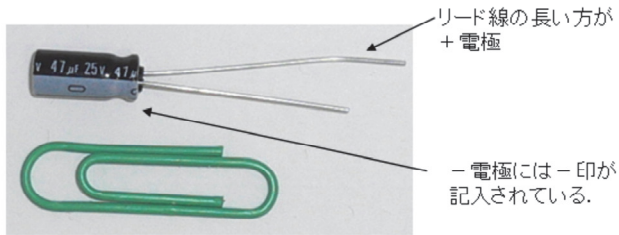


21

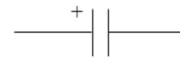
抵抗の写真と記号およびカラーコード表を示します。抵抗は小さいため、抵抗値は数値ではなくカラーコードで表記されます。カラーコード表は色と数値の対応表です。黒が0、茶が1、・・・と対応づけられています。写真の例は緑、茶、茶なので  $511 \rightarrow 51 \times 10^1 = 510 [\Omega]$  です。赤、赤、赤であれば  $222 \rightarrow 22 \times 10^2 = 2.2 [\text{k}\Omega]$  です。4本目の金色は抵抗値の精度を表しています。金色は表示された抵抗値に対して、実際の値は  $\pm 5\%$  の誤差があることを意味します。なお、「くちあだきみあむはし」と覚えると良いかも知れません。「くちあ」という滝と「みあむ」という橋があると覚えます。く(黒)ち(茶)・・・です。こじつけですが、結構覚え易いです。

抵抗にはブレッドボードに差し込むのに十分な長さのリード線がついています。適当な長さに切ってボードに挿入することを勧めます。リード線を切るにはニッパと呼ばれる専用工具が良いですが、紙を切るための普通のはさみでも切ることができます。

## 電解コンデンサ

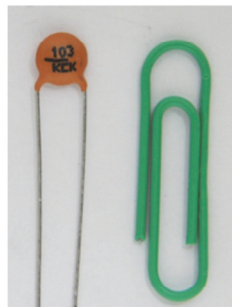


電解コンデンサ (47 $\mu$ F)



電解コンデンサの記号

## セラミックコンデンサ



103  
=  $10 \times 10^3$  [pF]  
= 10000 [pF]  
= 0.01 [ $\mu$ F]

セラミックコンデンサ



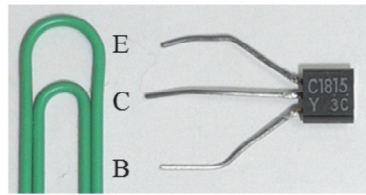
コンデンサの記号

22

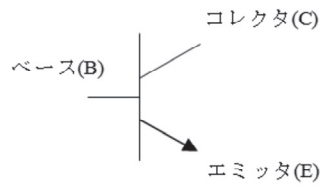
電解コンデンサとセラミックコンデンサを示します。電解コンデンサには極性があります。プラス側のリード線が長く作られています。本体のマイナス側面に白い帯が印刷されています。電解コンデンサの静電容量は例えば 47 [ $\mu$ F]と印字されています。

セラミックコンデンサには極性はありません。静電容量は数値で表記されています。  
 $103 \rightarrow 10 \times 10^3$  [pF] = 10000 [pF] =  $10000 \times 10^{-12}$  [F] =  $0.01 \times 10^{-6}$  [F] = 0.01 [ $\mu$ F]です。

## トランジスタ

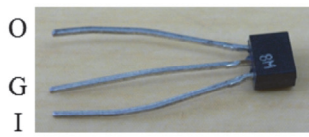


トランジスタ(2SC1815)



トランジスタの記号

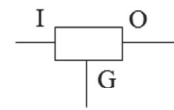
## AMラジオ受信機用IC



AMラジオIC (LA1050)



AMラジオIC (LMF501)

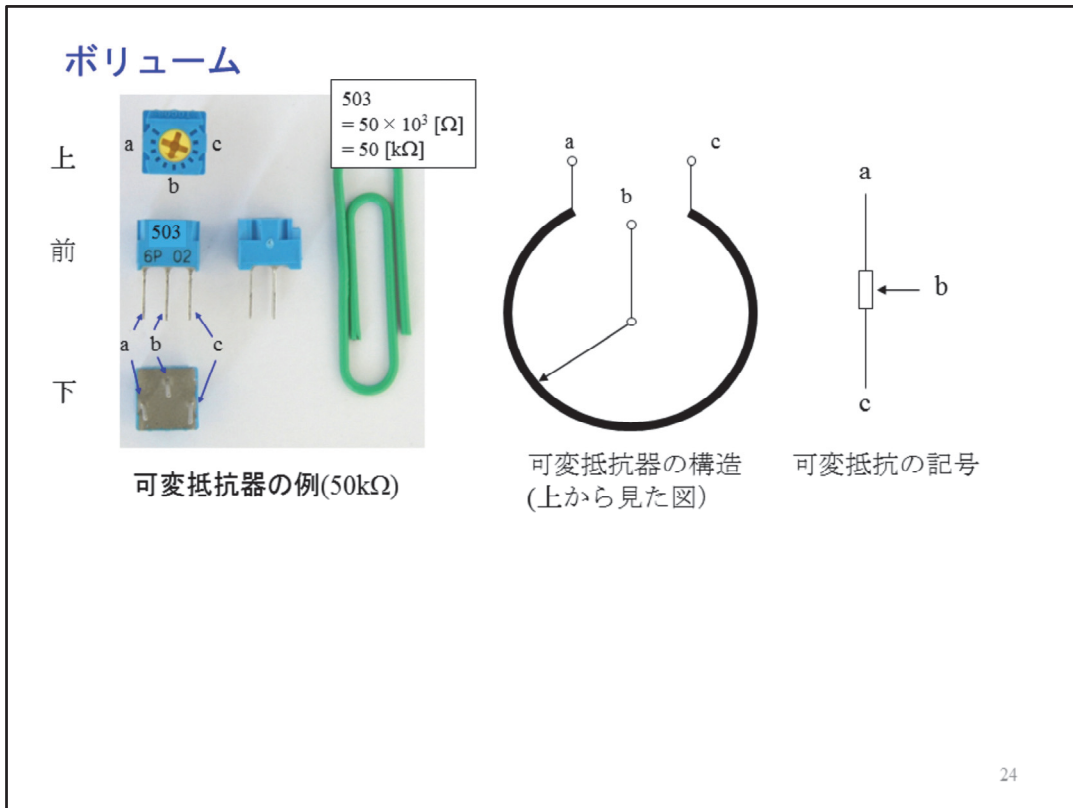


AMラジオICの記号

23

トランジスタの電極には名前がつけられています。写真の向きにおいて、電極は上からE (Emitter, エミッタ), C (Collector, コレクタ), B (Base, ベース)です。本講義で使うトランジスタはNPN型トランジスタの2SC1815です。

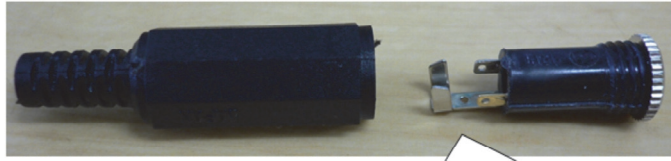
下側はAMラジオ受信機用ICです。本講義で製作するラジオ受信機にはLA1050, LMF501のどちらでも使えます。電極は写真の向きで上からO (Output), G (Ground), I (Input)です。これらのICは放送信号の増幅, 音信号の復調, 自動ゲイン調整(AGC)の機能を持っています。名古屋ではNHK第1, 第2, CBCラジオ, 東海ラジオをきれいに分離して、しかも、AGC機能によりいずれもほぼ同じ音量で聴くことができます。ただし、これは木造の家の中もしくは屋外での場合です。鉄筋のビル内で電波が弱く、窓際でかろうじて聴くことができるような場合には、AGC機能が働く余地がなく、電波の強いNHK第1のみしか聴けないことがあります。



ボリュームの外観と記号です。上面の黄色い部分が回転可能です。この十字の凹みにねじ回し(プラスでもマイナスでも良いです。)を挿入して、黄色い部分を廻すと、内部ではb電極の先端が抵抗面を摺動して、a-b間の抵抗値、および b-c間の抵抗値が変化します。a-c間の抵抗値は常に一定です。a-c間の抵抗値がボリュームの前面に印字されています。503 →  $50 \times 10^3 = 50$  [kΩ]です。a-b間の抵抗値が10[kΩ]であれば、b-c間の抵抗値は $50 - 10 = 40$  [kΩ]です。

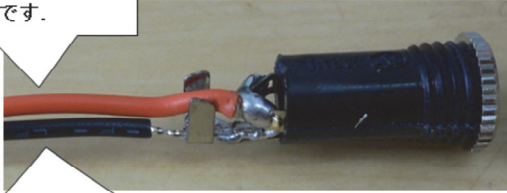


## イヤフォンジャック



短い電極が2個（左右チャンネル）と長い電極が1個（GND）があります。

短い電極は2個ともまとめて明るい色の被覆の線を半田付け。このラジオはモノラルなので左右の区別無く聴けるようにするためです。



長い電極には暗い色の被覆の線を半田付け。GND用端子を間違いなくGNDにつなぐため。間違えるとノイズが増えることでしょう。

25

イヤフォンジャックはカバーをねじ止めできるようになっています。カバーを外すと図上右の電極が現れます。ステレオイヤフォンジャックなので、左右チャンネル用の2個の短い電極と、グラウンド(GND)用の1個の長い電極があります。本講座のラジオはモノラル(1チャンネルのみ)なので、左右チャンネルを区別することなく、両電極をまとめて一本の電線に半田付けします。この電線はグラウンド線と区別するために明るい色の被覆の線を用いると良いです。グラウンド用の電極には暗い色の被覆の線を用いると良いです。GND用端子を間違えることなくGND(電池のマイナス電極側)に接続するためです。これを間違えると、放送受信時にノイズが増えることでしょう。

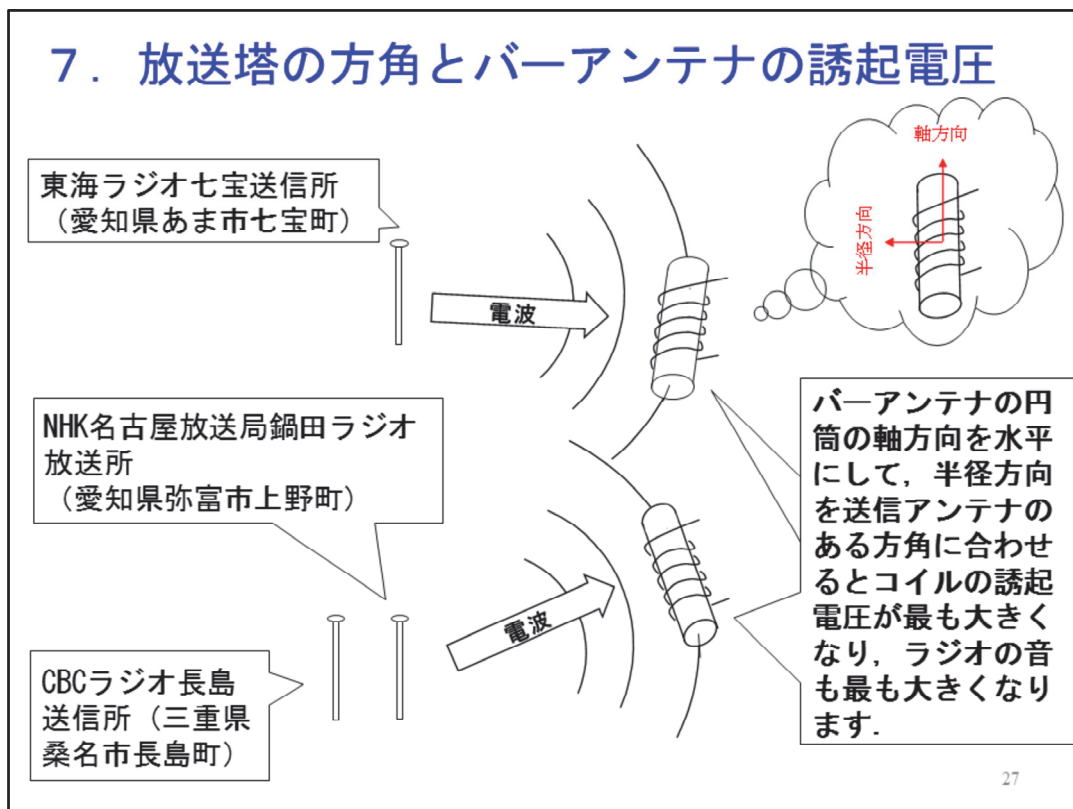
## 部品の定格と購入先

部品名	型式・定格	単価	数量	購入先
AMラジオ IC	LMF501	200	1	電子パーツ通販KURA <a href="http://www.kura-denshi.com/">http://www.kura-denshi.com/</a>
イヤホンジャック	3.5mmΦ	80	1	〃
ジャンパーワイヤ	EIC-J-L	400	1	秋月電子通商 <a href="http://akizukidenshi.com/catalog/default.aspx">http://akizukidenshi.com/catalog/default.aspx</a>
ステレオイヤホン	ステレオ, 3.5mmφ, 巻き取り器付き	500	1	〃
セラミックコンデンサ	0.01μF	80(10個入り)	1	電子パーツ通販KURA
抵抗	510Ω, 1/4W	100(100本入り)	1	秋月電子通商
	1kΩ, 1/4W	100(100本入り)	1	〃
	2.2kΩ, 1/4W	100(100本入り)	1	〃
	50kΩ, 1/4W	100(100本入り)	1	〃
	100kΩ, 1/4W	100(100本入り)	1	〃
電解コンデンサ	10μ, 50V	83(10個入り)	1	〃
	47μ, 50V	98(10個入り)	1	〃
電池ボックス (電池ケース)	単三×2本	80	1	〃
トランジスタ	2SC1815	100(20個入り)	1	電子パーツ通販KURA
パーアンテナ	AR-55X	340	1	〃
半固定ボリューム	50kΩ	40	1	秋月電子通商
ブレッドボード	BB-102	300	1	〃
バリコン	2連, 150pF+70pF	250	1	電子パーツ通販KURA
バリコン用ダイヤル		80	1	〃

26

本講義に使用する部品の名称, 定格, 単価, 数量, 購入先を示します。購入先は全てネット通販サイトです。単価は2016年10月時点の情報です。なお, ステレオイヤフォンはスマートフォンやiPhoneなどに使われている3.5mmΦのステレオタイプであれば使えます。iPhone7で使われているようなLightning対応イヤフォンではイヤホンジャックと合いません。

## 7. 放送塔の方角とバーアンテナの誘起電圧



完成したラジオにより名古屋ではNHK第1, 第2, CBCラジオ, 東海ラジオの4局を聴くことができます。名古屋市中心部からはNHK第1, 第2とCBCラジオの放送塔が南西の方角に、東海ラジオが西の方角にあります。バーアンテナの円筒の軸方向を水平にして、バーアンテナを水平面上で回転させると、半径方向が放送塔の方角を向いたときにラジオの音量が最大になります。これは10ページに述べたように、放送アンテナが地面に対して垂直に建てられている場合、磁場は地面と平行になります。この磁場(磁束)が最も多くコイルを貫くようにコイルを置いたとき、ファラデーの法則によるコイルの誘起電圧は最大になります。なお、ビルの窓際などでは建物などの影響で電波が回り込んでくるために、音量が最大になる方角は必ずしも放送塔のある方角と一致するとは限りません。

2016年10月

著者：古橋武  
所属：名古屋大学工学研究科計算理工学専攻  
連絡先：furuhashi@cse.nagoya-u.ac.jp