

# 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.

送信所が生きている限り聴ける.

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.

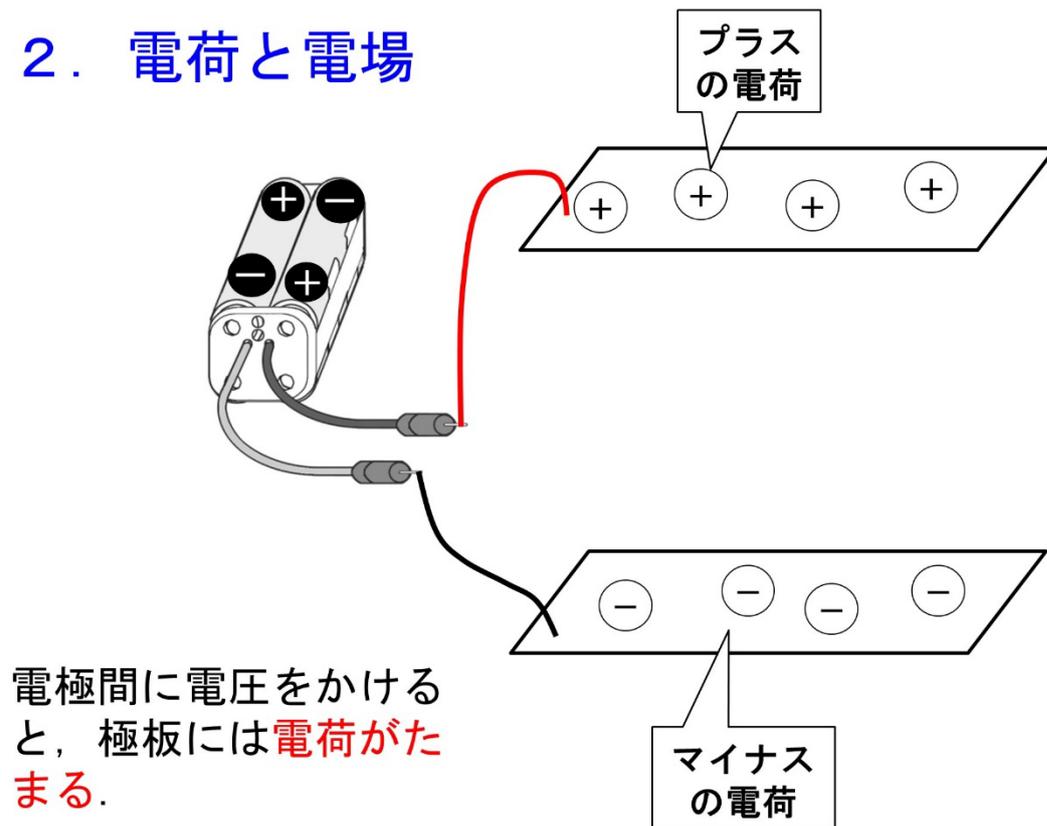
愛知県内には NHK 第 1, 第 2 の送信所が西部の弥富市と東部の豊橋市の 2 カ所にあります. ここがダメージを受けない限り, 愛知県内では放送を聴くことができます. しかも, 電波の届く限りの場所で, 何百万人でも聴けます. 東北大震災では連絡網がずたずたになった状況に置かれた多くの被災者にとって, ラジオ放送が唯一の情報源だったとのことです.

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 の電波は遠くまでは飛ばないので, 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.

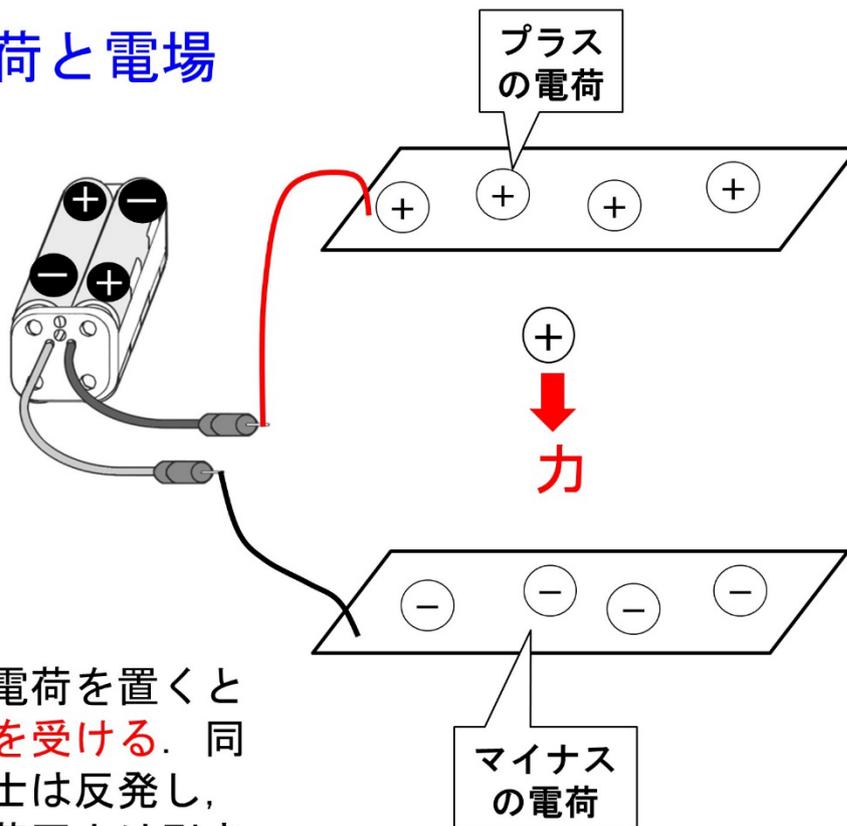
## 2. 電荷と電場



電極間に電圧をかけると、極板には電荷がたまる。

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。

## 2. 電荷と電場

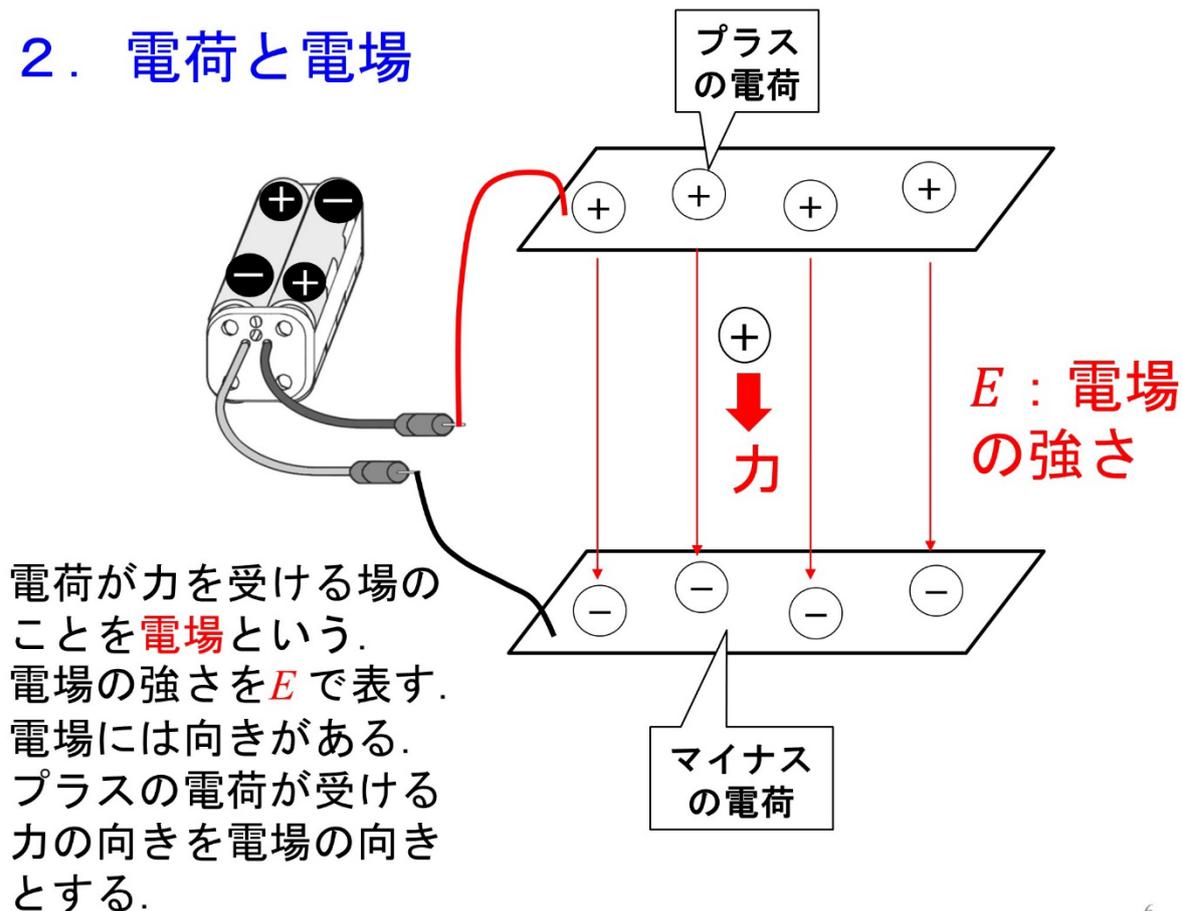


電極間に電荷を置くと  
電荷は力を受ける。同じ電荷同士は反発し、異なる電荷同士は引き合う。

5

この極板間に電荷を置くと、この電荷は力を受けます。同じ極性の電荷同士は反発し、異なる極性の電荷同士は引き合います。

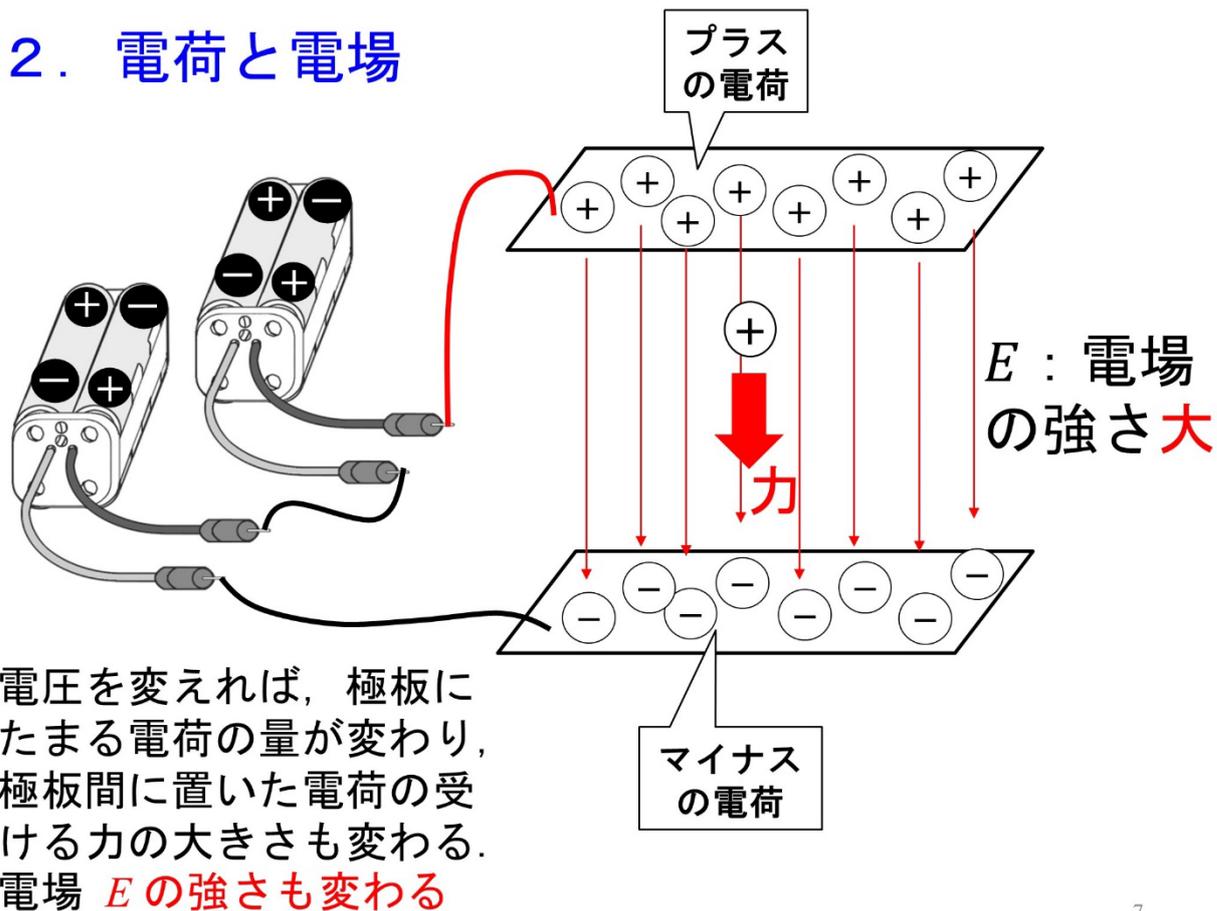
## 2. 電荷と電場



6

電荷が力を受ける場のことを電場といいます。電場の強さは記号  $E$  で表します。電場には向きがあります。プラスの電荷が受ける力の向きを電場の向きとします。

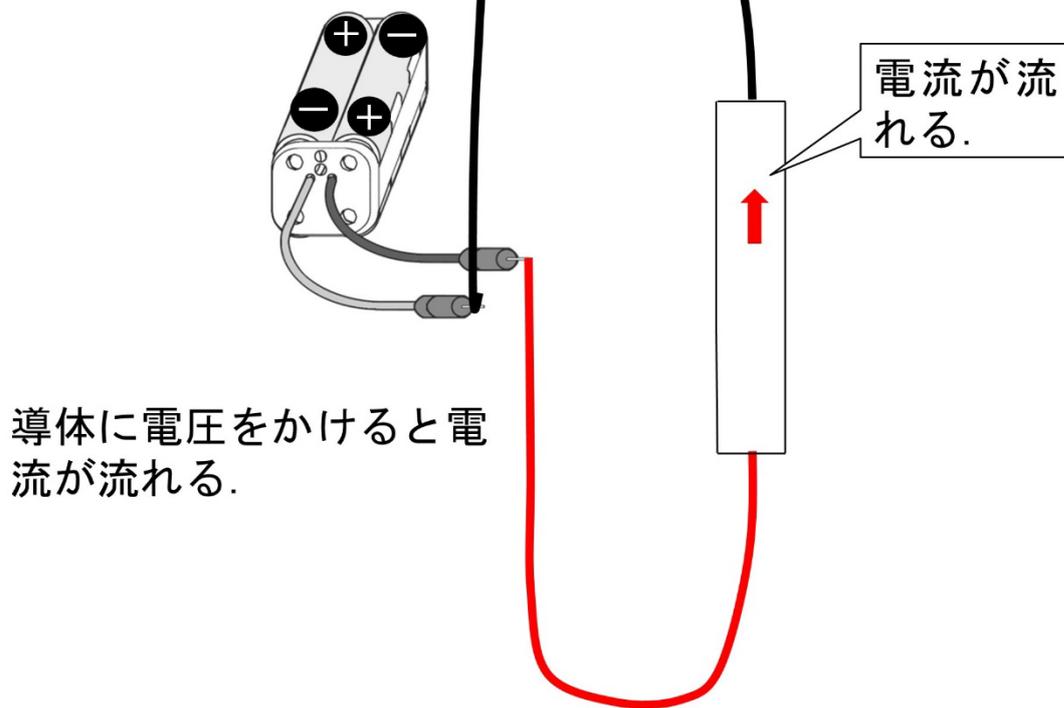
## 2. 電荷と電場



7

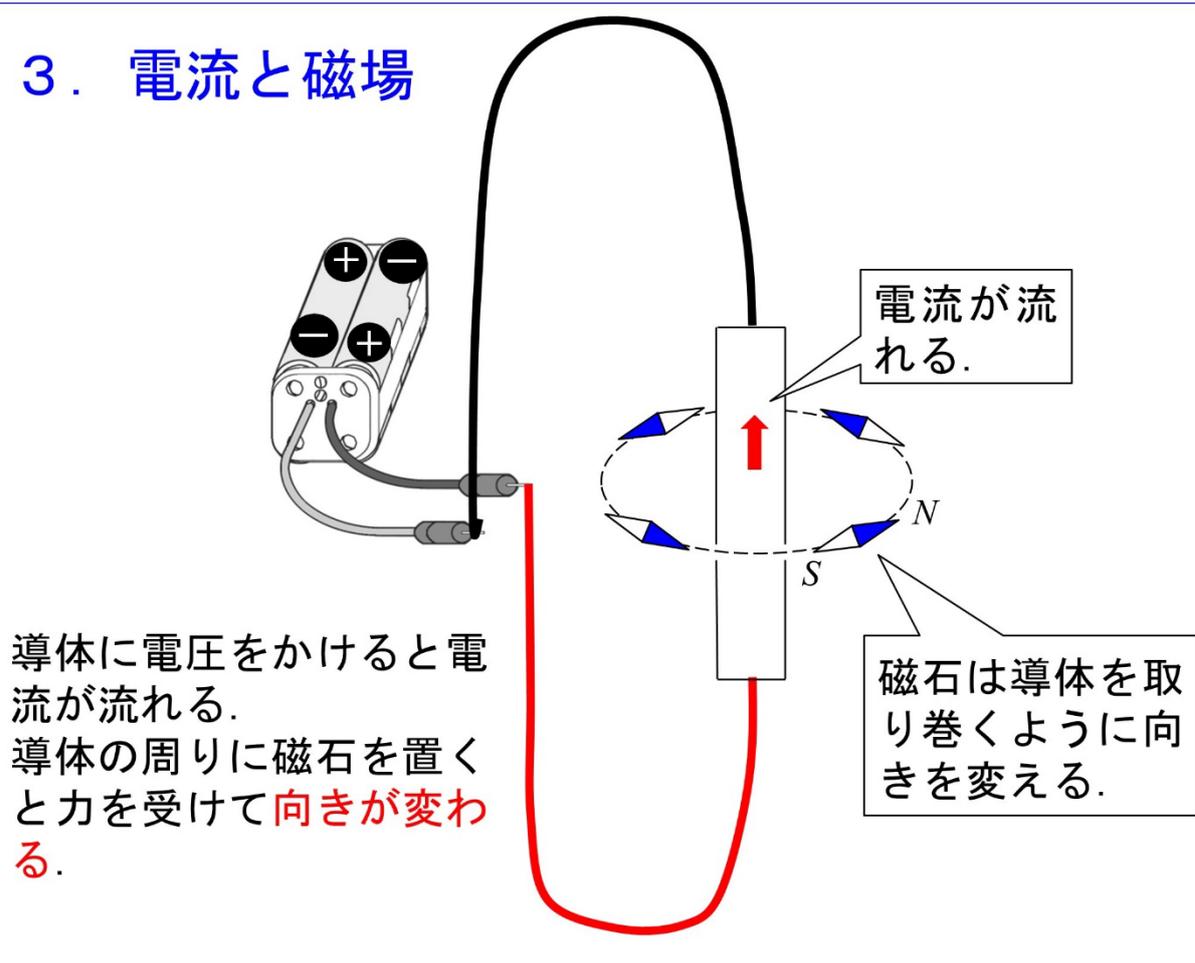
極板間に加えている電圧を変えれば, 極板にたまる電荷の量が変わります. そして, 極板間に置いた電荷の受ける力の大きさも変わります. 電場  $E$  の強さが変わると捉えます.

### 3. 電流と磁場



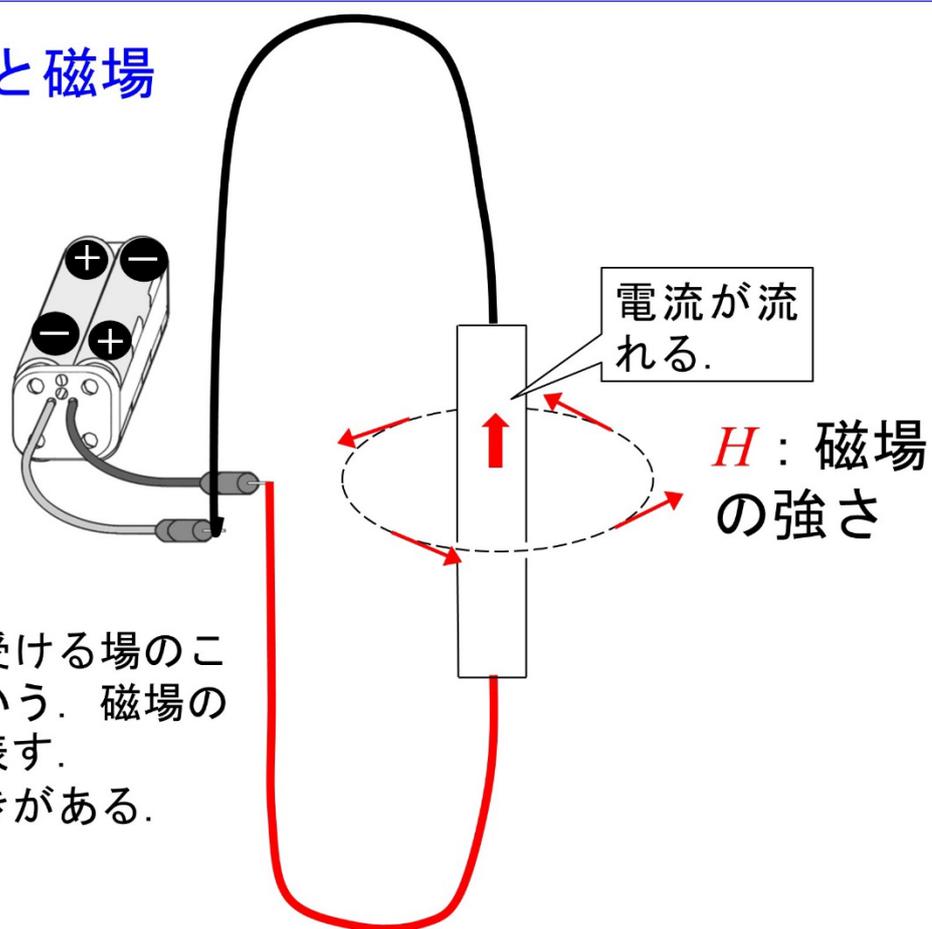
磁石が力を受ける場のことを磁場といいます。磁場の強さを  $H$  で表します。磁場には向きがあります。この向きは磁石の S 極から N 極への向きと定義します。導体の長軸方向に垂直な円盤を考えると、磁場の向きは円周の接線方向です。

### 3. 電流と磁場



そして、導体の周りに磁石を置くと力を受けて、磁石の向きが変わります。導体の周りに磁石を置くと、磁石は導体を取り巻くように向きを変えます。もちろん、電流が小さいと、地磁気の影響で磁石は北の方からわずかに向きを変えるだけです。大きな電流を流せば、図のように磁石は胴体の周りを取り巻くようになるでしょう。

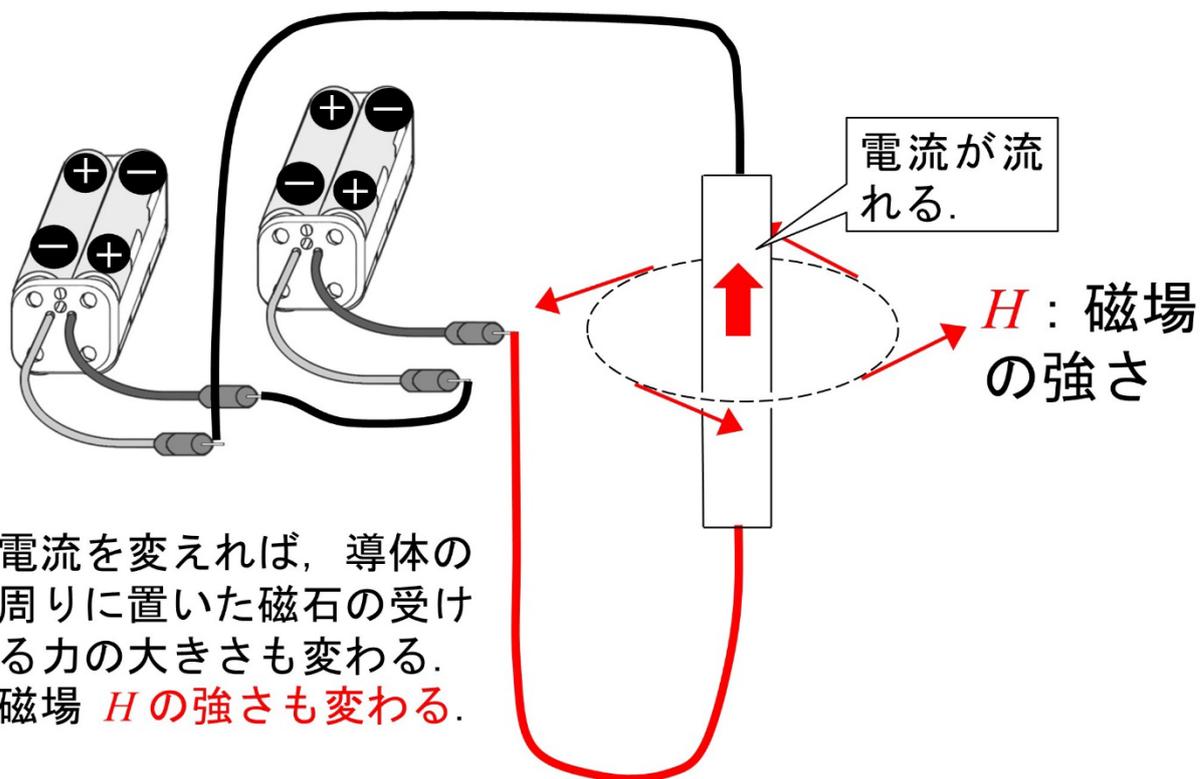
### 3. 電流と磁場



磁石が力を受ける場のことを**磁場**という。磁場の強さを $H$ で表す。  
磁場には向きがある。

磁石が力を受ける場のことを磁場といいます。磁場の強さを  $H$  で表します。磁場には向きがあります。この向きは磁石の S 極から N 極への向きと定義します。導体の長軸方向に垂直な円盤を考えると、磁場の向きは円周の接線方向です。

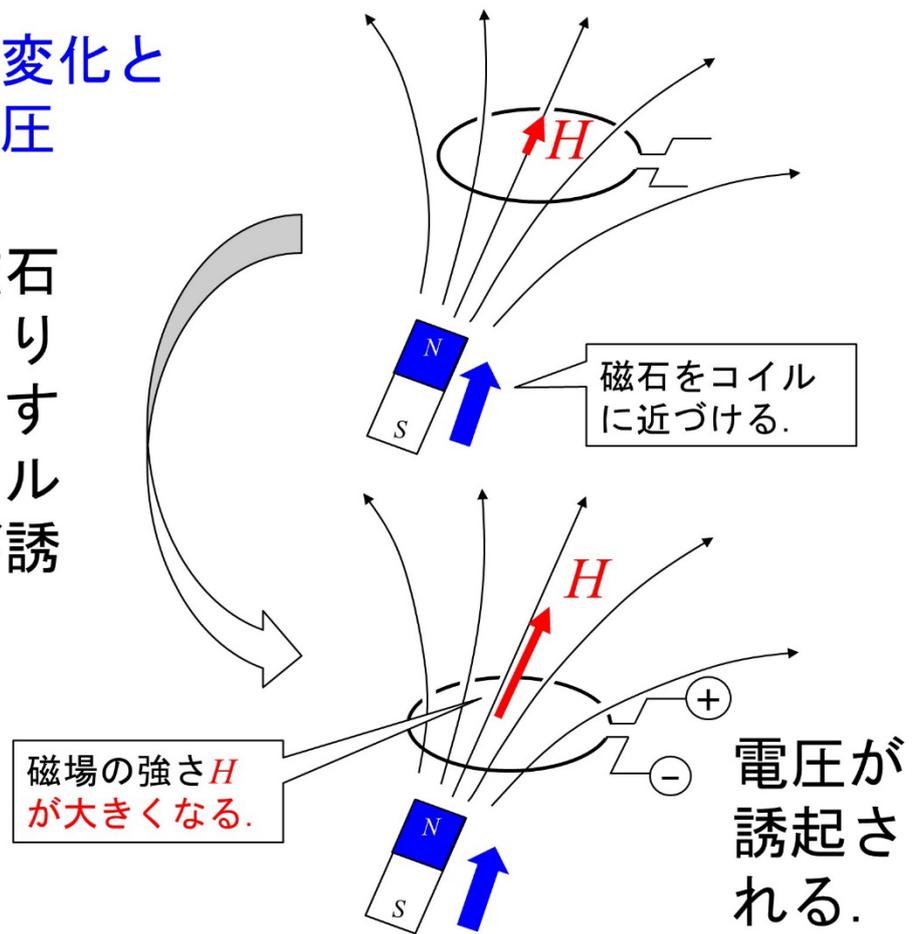
### 3. 電流と磁場



電流を変えれば, 導体の周りに置いた磁石の受ける力の大きさも変わります. そして, 磁場  $H$  の強さも変わります.

## 4. 磁場の変化と誘起電圧

コイルに磁石を近づけたり遠ざけたりすると、コイルには電圧が誘起される。



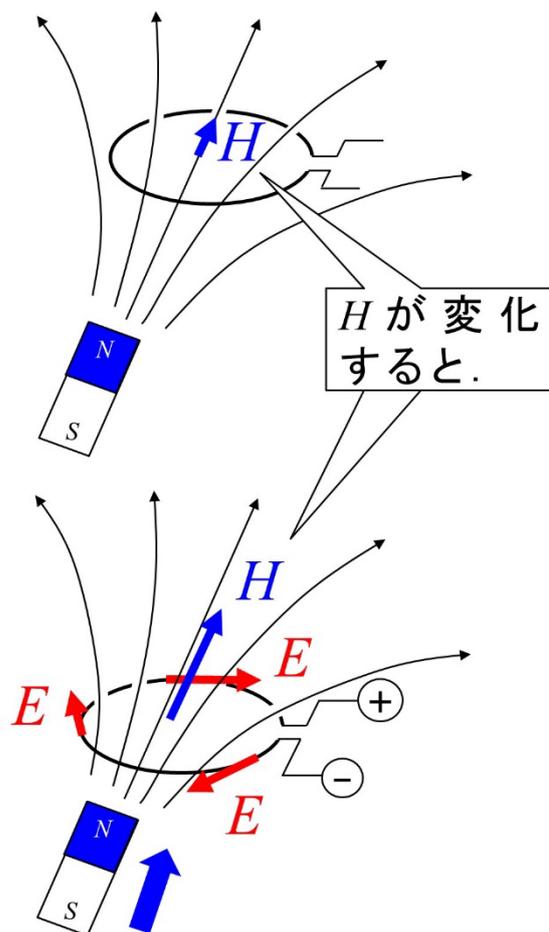
コイルに磁石を近づけたり遠ざけたりすると、コイルには電圧が誘起される実験は、小学校の理科で習いましたか？図のように磁石のN極をコイルに近づけると、コイルを貫く磁場の強さが増します。ファラデーの法則によると、このとき図示の向きに電圧が誘起されます。

## 5. 大学の物理

### 5.1 磁場の変化と電場

磁場が変化すると磁場の周りには電場が誘起される。

電場  $E$  が誘起される



大学の物理では、このファラデーの法則をさらに深く学びます。高校まではコイル端に現れる電圧だけに注目します。大学では、コイル上の現象にも着目します。実はコイル上にはどの点においても電場  $E$  が誘起されています。円状のコイルでは、電場の向きは図示のようにコイルの接線方向です。

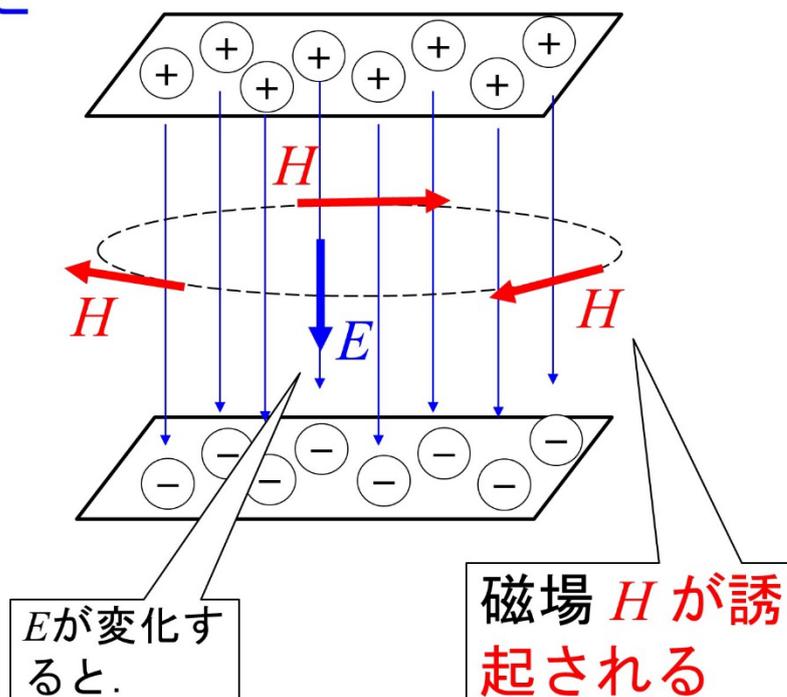
そして、大学では、この電場はコイル上に限らず、変化する磁場の周りではどこであっても電場が誘起されることを学びます。

## 5. 大学の物理

### 5.2 電場の変化と磁場

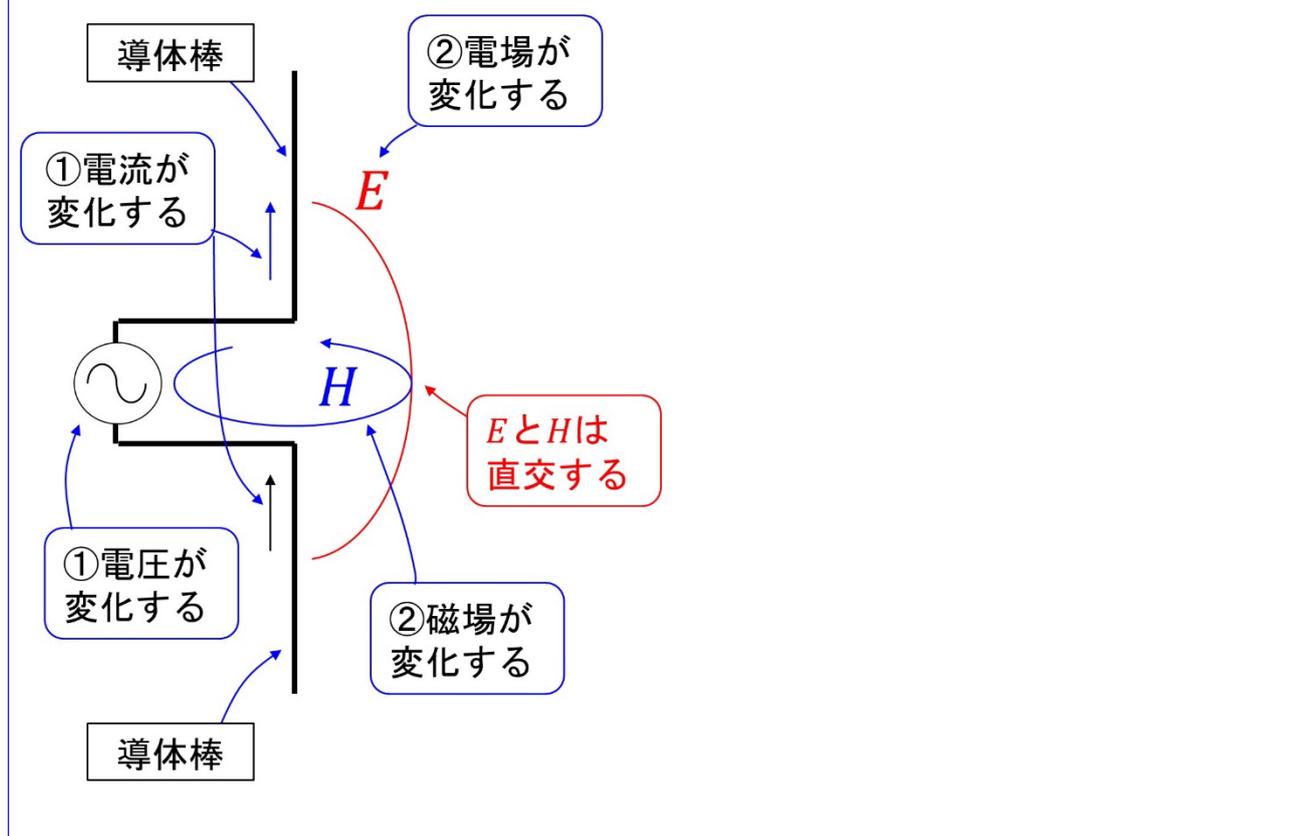
電場が変化すると電場の周りには磁場が誘起される。

(マックスウェルの予言)



さらに、電場が変化すると電場の周りには磁場が誘起されることを学びます。磁場の向きは図示のように円環の接線方向です。これは、マックスウェルが数学的に導き出した仮説でした。そして、これはマックスウェルの予言と呼ばれました。彼がこれを考えた当時は、この現象を観測することが困難だったからです。

## 6. 電波（電場と磁場の相互作用）



磁場が変化すると電場が誘起され、電場が変化すると磁場が誘起されます。この電場と磁場の相互作用により、電波が空中を飛んで行くという仮説（マックスウェルの第2の予言）が立てられました。

図の左端に交流電圧源があり、この電源に上下2本の導体棒がつながられています。導体棒は鉛直線に沿って立てられているとします。

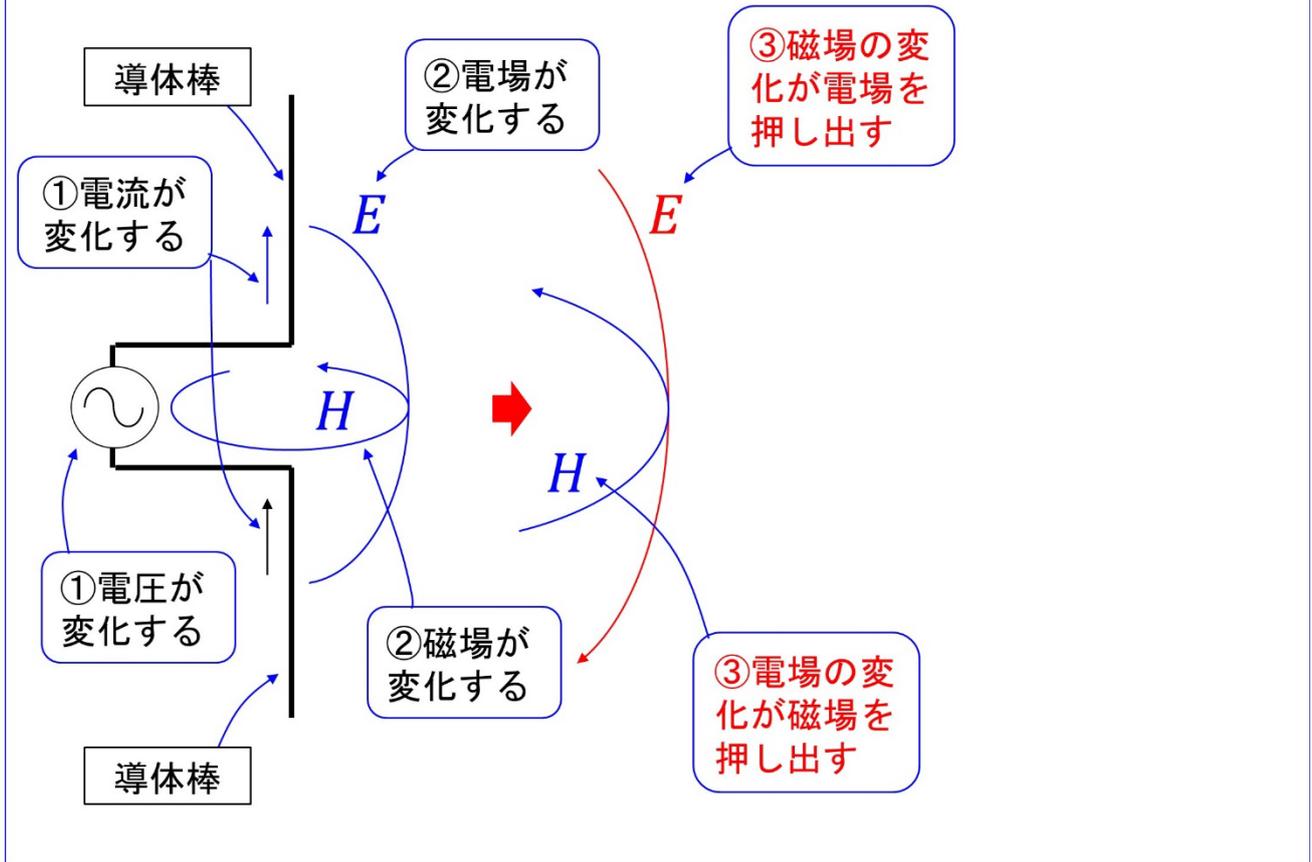
- ① 電源電圧が変化したとします。これにより導体棒を流れる電流が変化します。
- ② これにより、直交する電場  $E$  と磁場  $H$  が生成されます。 $E$  は鉛直面内に、 $H$  は水平面内にあります。図では導体棒の右側にしか  $E$  を描いてありませんが、 $E$  は導体棒を中心として、どの水平方向にも均等に生成されます。 $E$  と  $H$  は時間とともに変化します。

②の  $E$  と  $H$  の生成原理は端折っています。筆者の力不足です。電場と磁場の相互作用の仕組みについて、最近（令和4年10月現在）、筆者なりの考察を加えました。以下のWebページ

[「ラジオノート 第21章 電波伝搬ノート」](#)

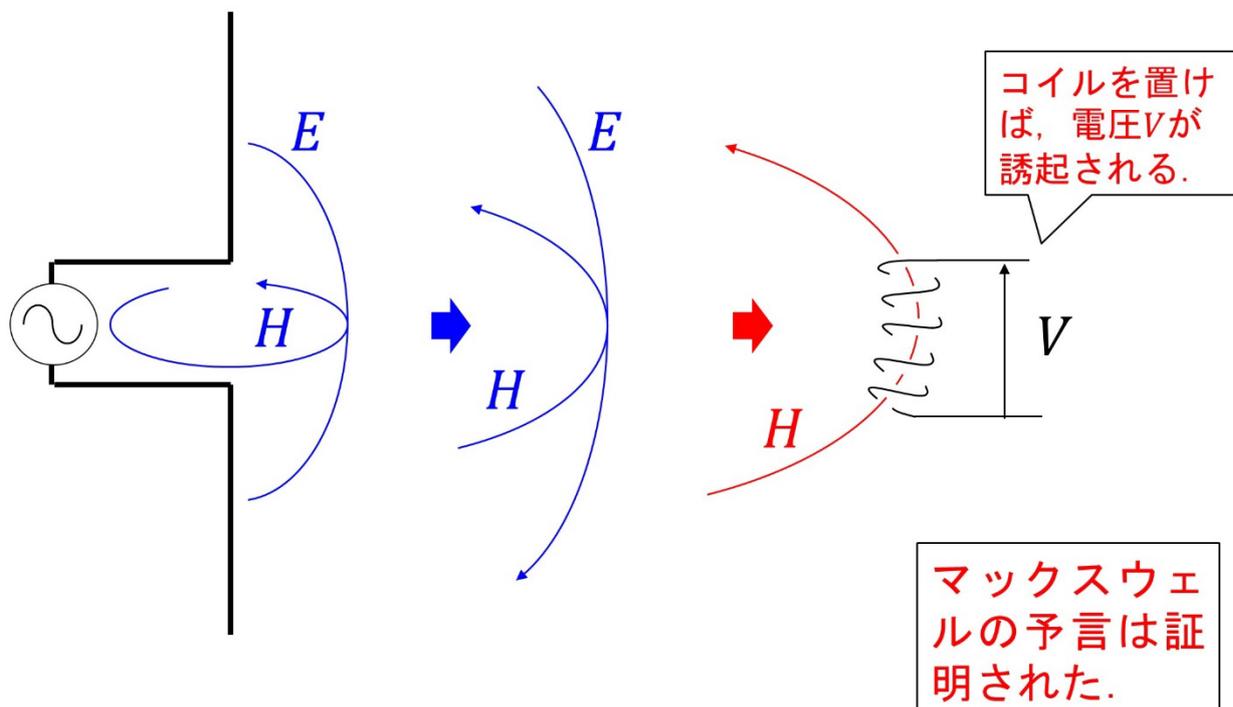
を訪ねてみてください。ただし、大学の電磁気学の知識を前提にしています。

## 6. 電波（電場と磁場の相互作用）



③電場  $E$  の変化は直交している磁場  $H$  を導体棒の廻りに押し出すように働きます（マックスウェルの予言から導かれます.）。同時に磁場  $H$  の変化は直交している電場  $E$  をアンテナの廻りに押し出すように働きます（ファラデーの法則から導かれます.）。

## 6. 電波（電場と磁場の相互作用）



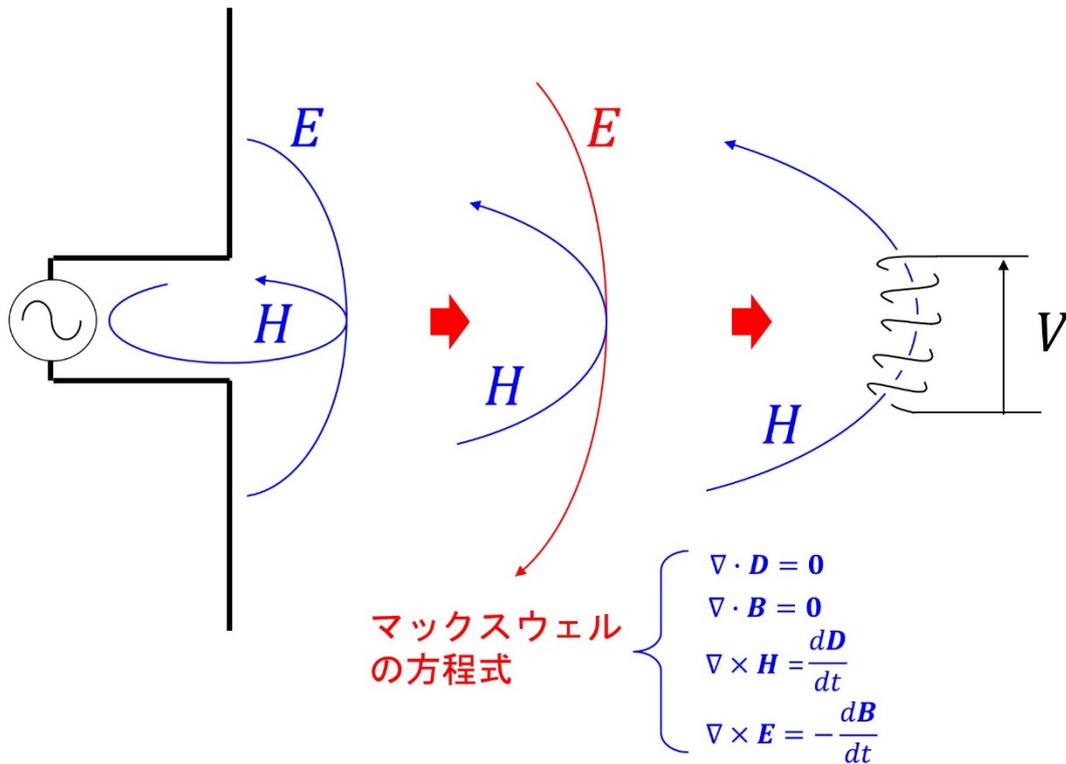
図中右端のように、コイルの円筒軸を水平にして、 $H$ がコイルを貫くように置くと、コイルには時々刻々変化する磁場  $H$  によって電圧  $V$  が誘起されます。この電圧  $V$  は観測可能です。（本当は違うやり方でしたが）この電圧  $V$  が観測されたことで、マックスウェルの予言は証明されました。ちなみにこの観測実験はヘルツの独創です。ヘルツは学生だったときに教授からこの証明の課題を与えられ、数年間粘った末にこの快挙を成し遂げたとのこと。現在、ヘルツは周波数の単位になっています。

（註）SNS が発達した現代では、ヘルツの論文（英訳版）を無料で読むことができます。

Electric Waves: Being Researches on the Propagation of Electric Action with Finite Velocity Through Space  
by Heinrich Hertz

で検索をかけると、<https://archive.org/>のサイトが見つかります。

## 6. 電波（電場と磁場の相互作用）



18

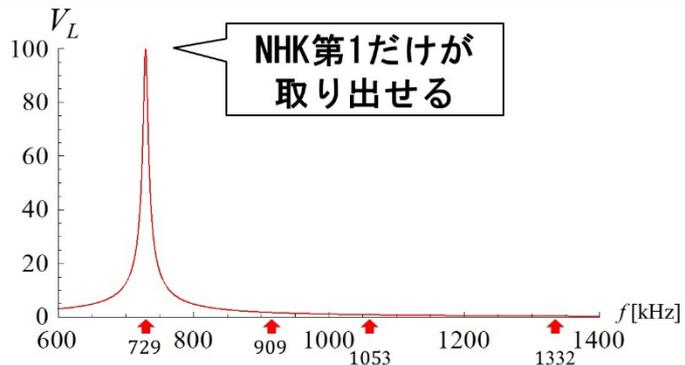
以上の電場と磁場の相互作用はマックスウェルの方程式にまとめられています。この方程式の理解が大学で学ぶ電磁気学のゴールの一つです。素晴らしく美しい式です。米国のマサチューセッツ工科大学 (MIT) で売られているTシャツのロゴにもなっています。大学で電気工学を学ぶ学生の間では有名(?)な話でした。



## 大学の電気回路学

### 直列共振回路

コイルの  
両端電圧



共振回路の周波数特性の例

$$\begin{aligned} L &= 600 \text{ } [\mu\text{H}] \\ C &= 79.4 \text{ } [\text{pF}] \end{aligned} \quad \rightarrow \quad \begin{aligned} f &= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \\ &= \frac{1}{2\pi\sqrt{600 \times 10^{-6} \times 79 \times 10^{-12}}} \\ &= 729 \text{ } [\text{kHz}] \quad \text{NHK第1 名古屋} \end{aligned}$$

20

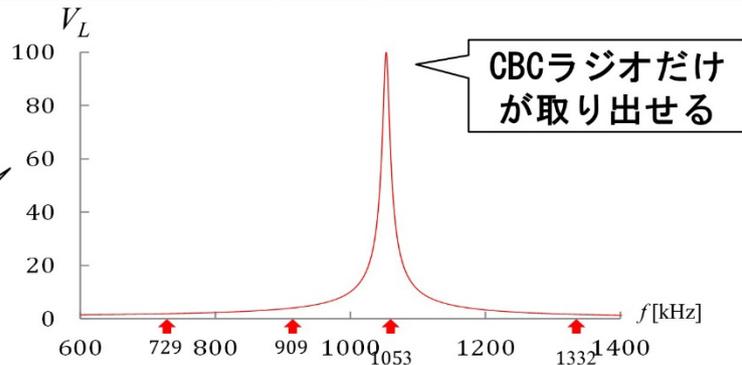
KURA が販売しているバーアンテナのインダクタンスの定格は 600 [μH]です。μ はマイクロとよみ、10<sup>-6</sup>を意味します。ポリバリコンの静電容量は 20~150 [pF]の間を変化するように作られています。p はピコとよみ、10<sup>-12</sup>を意味します。

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。

## 大学の電気回路学

### 直列共振回路

コイルの  
両端電圧



共振回路の周波数特性の例

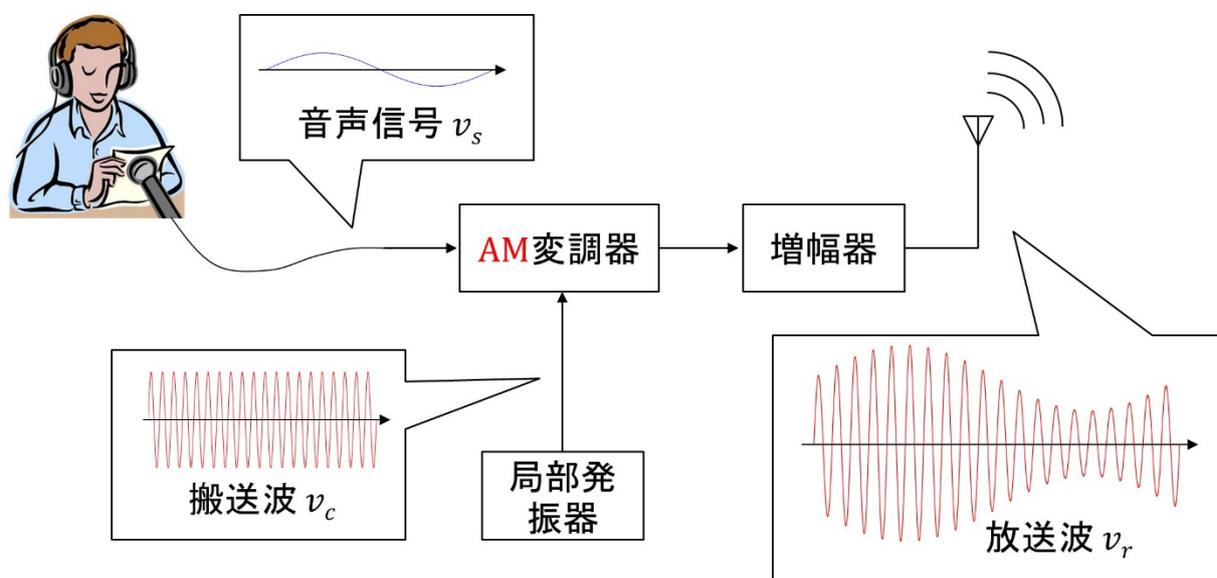
$$\begin{aligned} L &= 600 \text{ } [\mu\text{H}] \\ C &= 38.1 \text{ } [\text{pF}] \end{aligned} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \\ &= \frac{1}{2\pi\sqrt{600 \times 10^{-6} \times 38.1 \times 10^{-12}}} \\ &= 1053 \text{ } [\text{kHz}]$$

CBCラジオ

21

バリコンの静電容量を変えて  $C = 38.1 \text{ } [\text{pF}]$ ,  $23.8 \text{ } [\text{pF}]$  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。

## 8. AM放送の仕組み



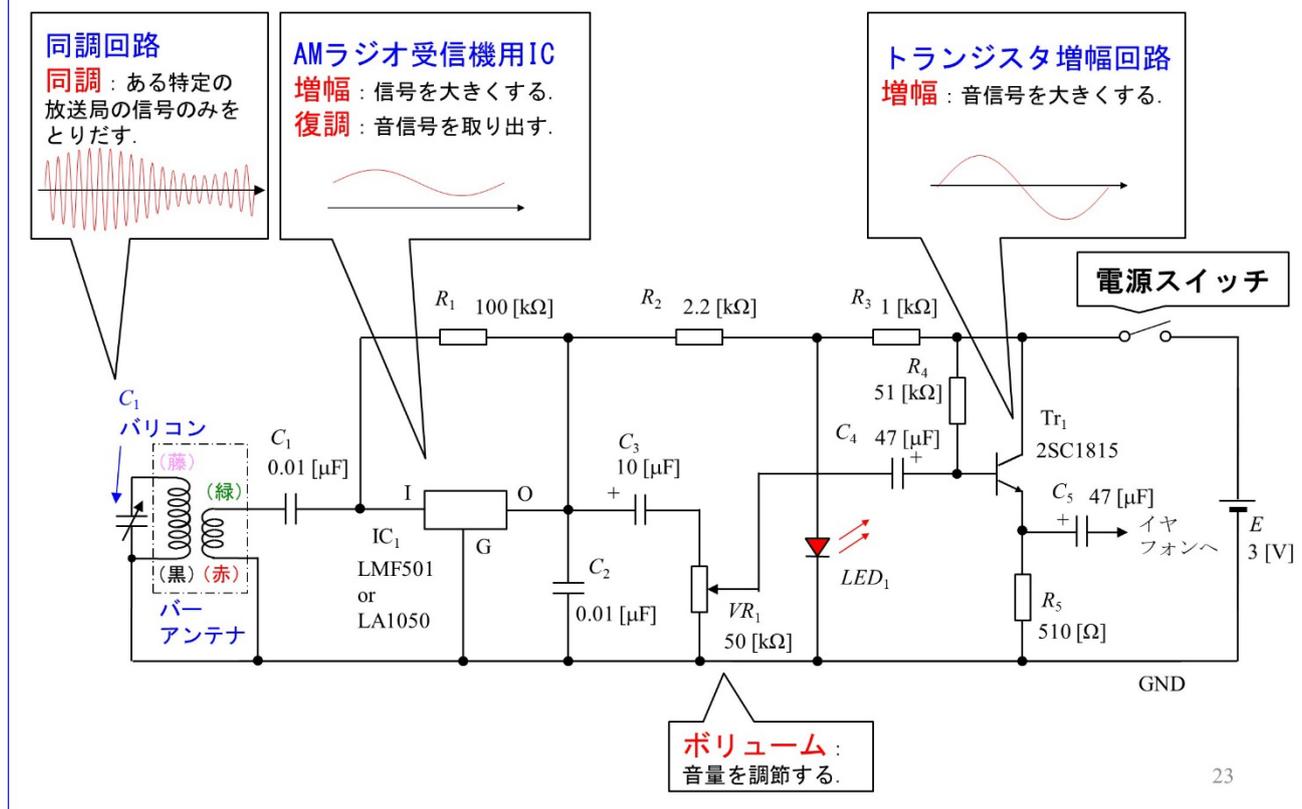
22

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。

## 9. AMラジオ受信機の製作



23

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。

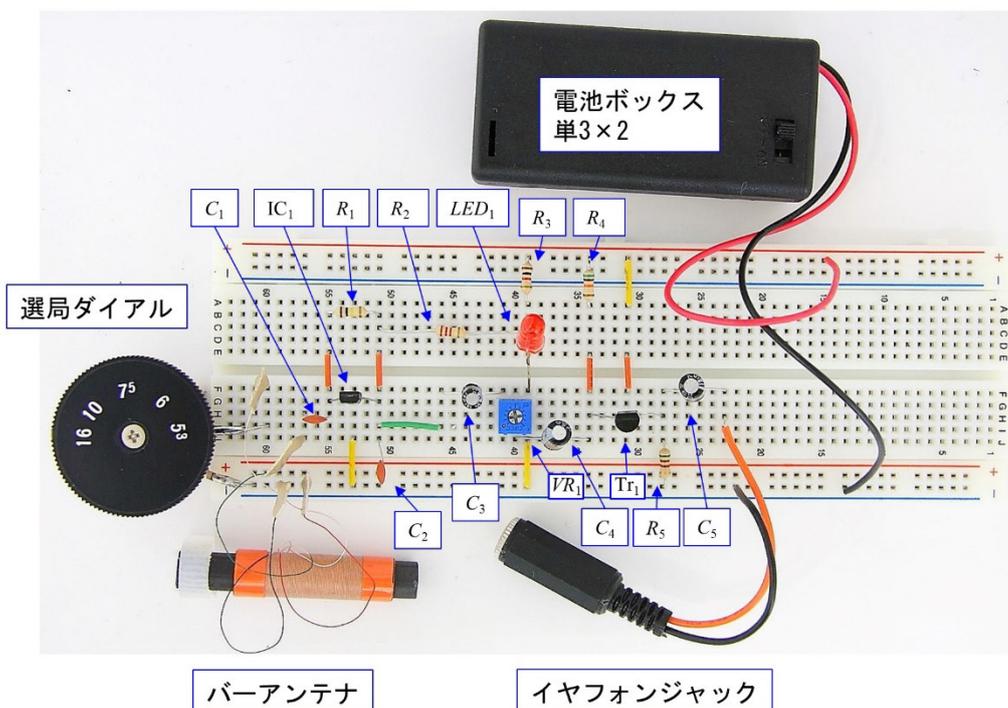
このスライドではラジオ受信機内の主な信号の流れと、各回路の働きの概要を述べます。図左端のバーアンテナとバリコンが同調回路です。バーアンテナの巻き数の少ない方のコイルの緑色の端子をコンデンサ  $C_1$  を介して AM ラジオ受信機用 IC の入力端子 I につなぎます。

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。小さなスクロッドライバー（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。

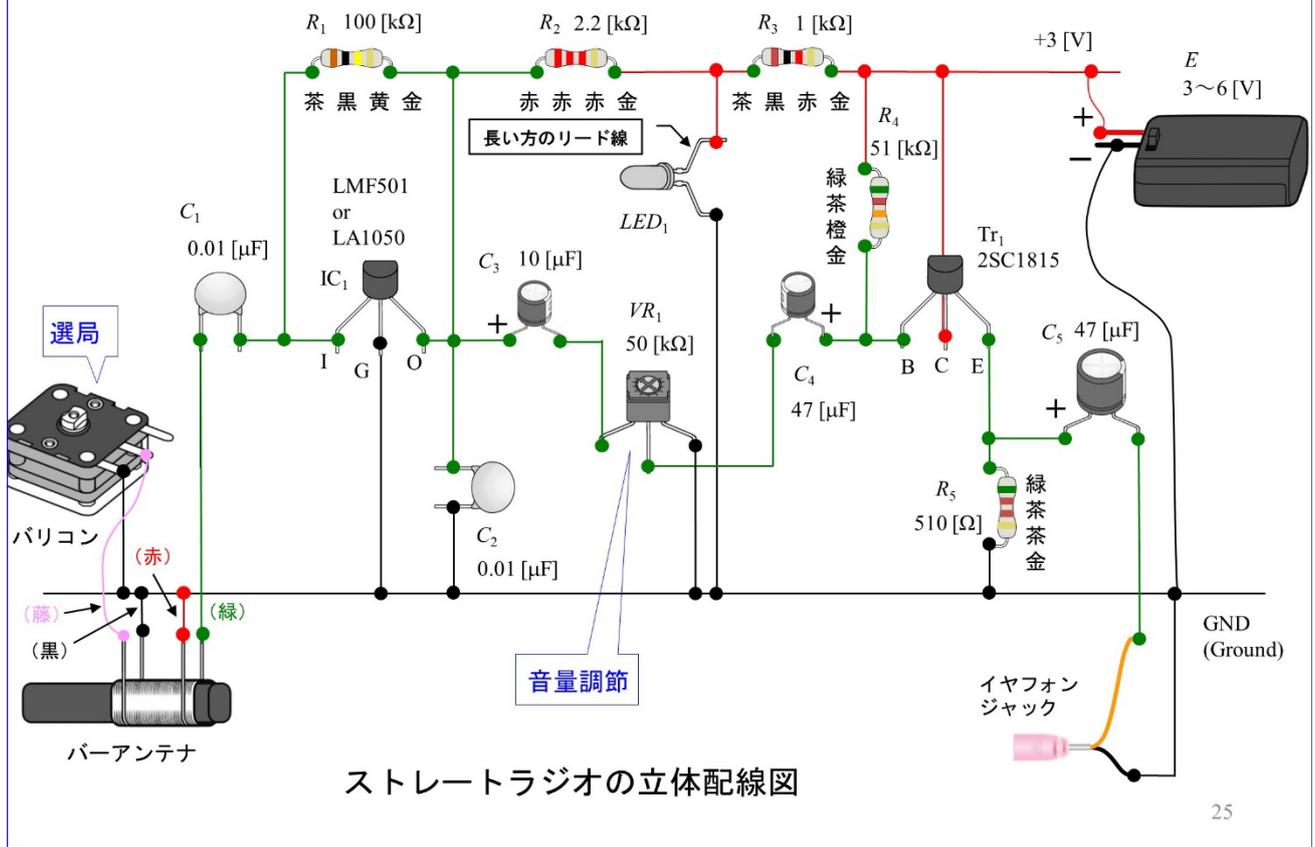
## AMラジオ受信機の写真



24

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



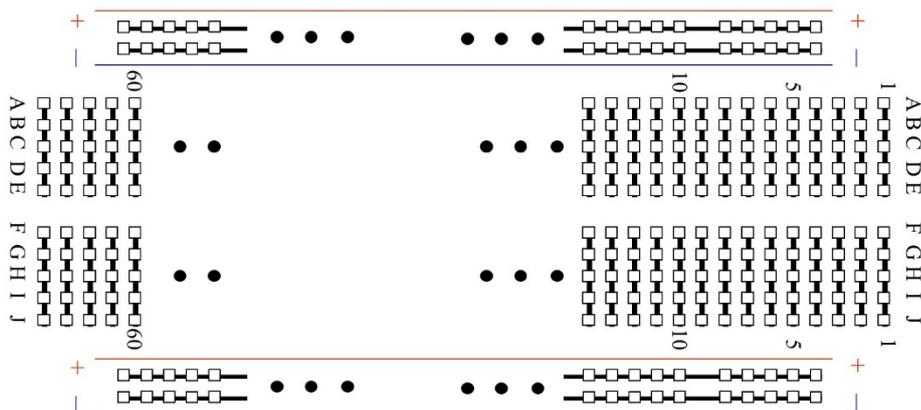
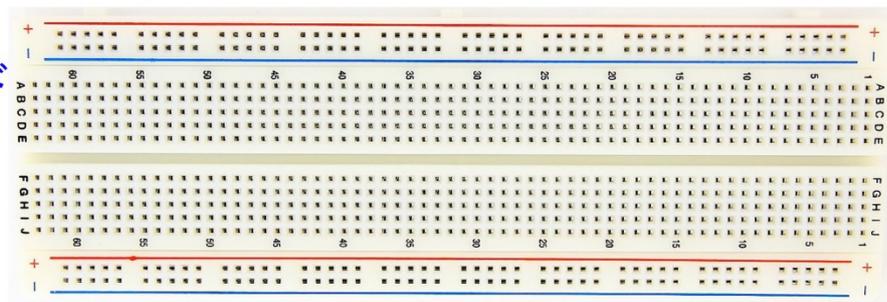
25

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おく「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 (プラスドライバー、マイナスドライバー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フォンの音量を調整できます。

# AMラジオ受信機の部品

ブレッド  
ボード

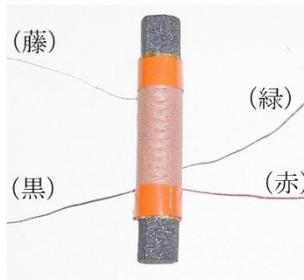


ブレッドボードと穴のつながりの様子

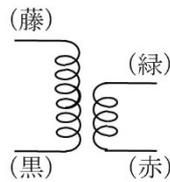
26

ここからは個別部品の説明です。

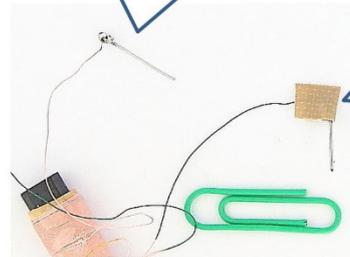
本講座では回路製作をブレッドボード上で行います。図はブレッドボードの外観写真（上）とボード上の穴のつながり（下）を示します。下の図で□は部品のリード線を差し込む穴です。黒い線は穴同士がつながっていることを示しています。一番上の2行と一番下の2行では、同じ行内の50個の穴は全てボード内部でつながっています。これら4行の間にある穴は列方向につながられています。例えば1列目（一番右の列）のABCDEの5個の穴が、また、FGHIJの5個の穴がそれぞれつながられています。同様に各列において5個ずつがつながられています。



バーアンテナ

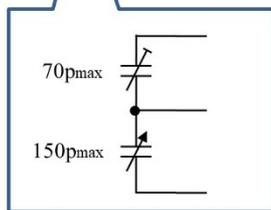
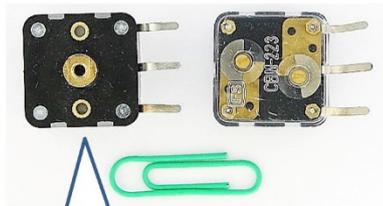


0.5mmφスズメッキ線もしくは抵抗やコンデンサなどの部品のリード線の切れ端を利用

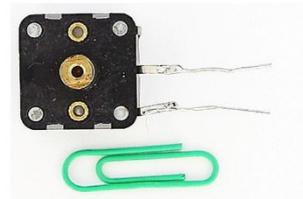


ハンダづけ箇所はテープで補強する。こうしないと、ここはよく折れる。

バーアンテナへのリード線の半田付け



バリコン



バリコンへのリード線の半田付け

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。

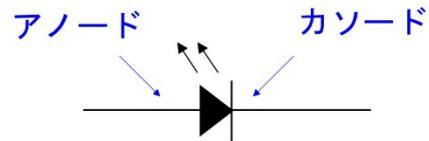
## LED

アノード  
足の長い方

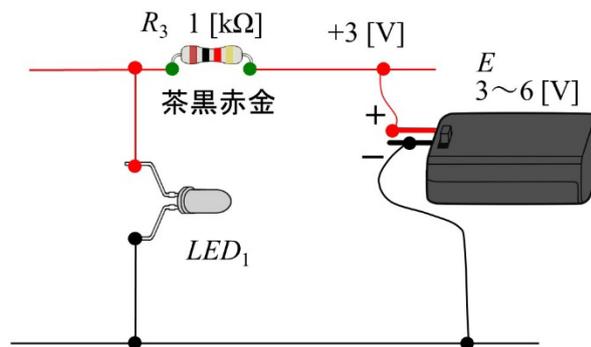


カソード

LED (発光ダイオード)



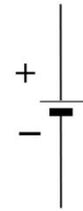
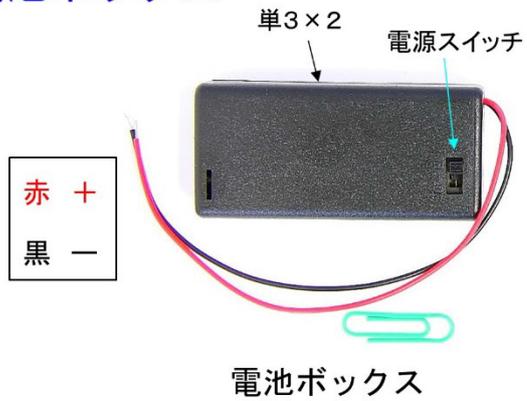
LED(発光ダイオード)の記号



28

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的配線図において、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。)

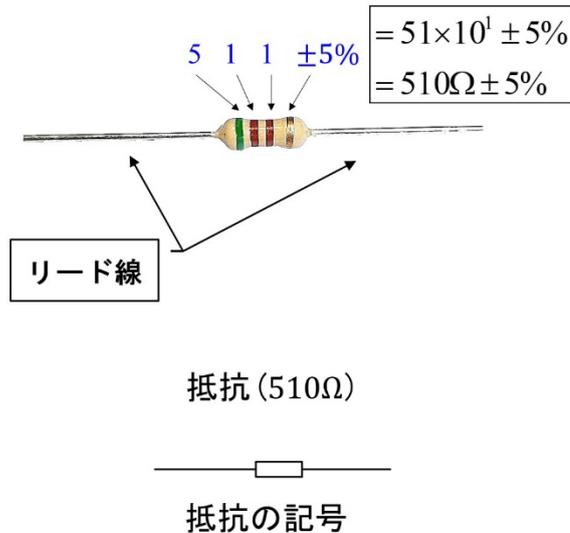
## 電池ボックス



直流電源の記号

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



### カラーコードの意味

黒 : 0	
茶 : 1	金 : ±5%
赤 : 2	銀 : ±10%
橙 : 3	無し : ±20%
黄 : 4	
緑 : 5	
青 : 6	
紫 : 7	
灰 : 8	
白 : 9	

30

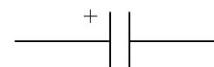
抵抗の写真と記号およびカラーコード表を示します。抵抗は小さいため、抵抗値は数値ではなくカラーコードで表記されます。カラーコード表は色と数値の対応表です。黒が0、茶が1、・・・と対応づけられています。写真の例は緑、茶、茶なので  $511 \rightarrow 51 \times 10^1 = 510 [\Omega]$  です。赤、赤、赤であれば  $222 \rightarrow 22 \times 10^2 = 2.2 [\text{k}\Omega]$  です。4本目の金色は抵抗値の精度を表しています。金色は表示された抵抗値に対して、実際の値は±5%の誤差があることを意味します。なお、「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

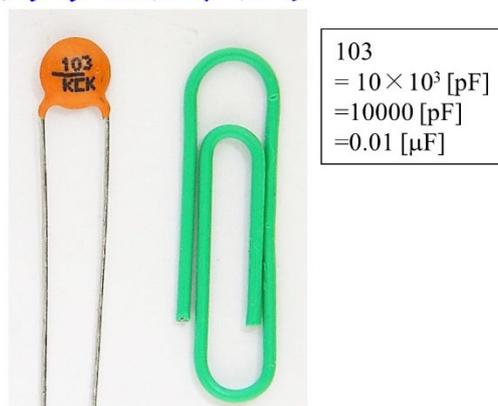


電解コンデンサ (47 $\mu$ F)



電解コンデンサの記号

## セラミックコンデンサ



セラミックコンデンサ



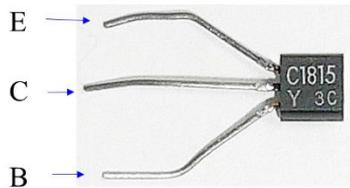
コンデンサの記号

31

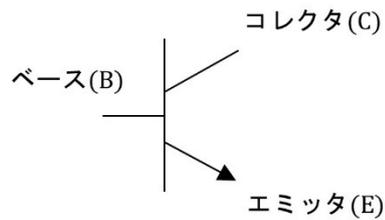
電解コンデンサとセラミックコンデンサを示します。電解コンデンサには極性があります。プラス側のリード線が長く作られています。本体のマイナス側面に白い帯が印刷されています。電解コンデンサの静電容量は例えば 47 [ $\mu$ F]と印字されています。

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

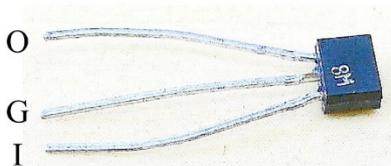


トランジスタ(2SC1815)

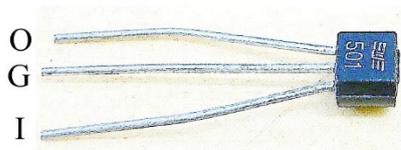


ランジスタの記号

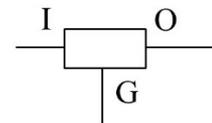
## AMラジオ受信機用IC



AMラジオIC (LA1050)



AMラジオIC (LMF501)



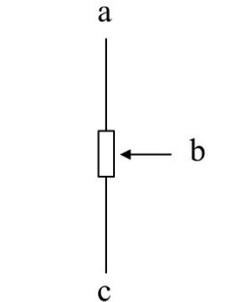
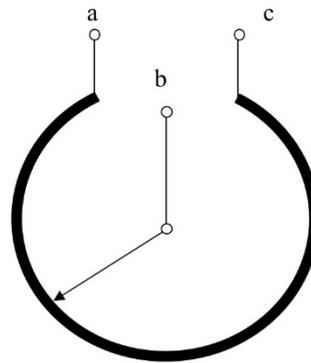
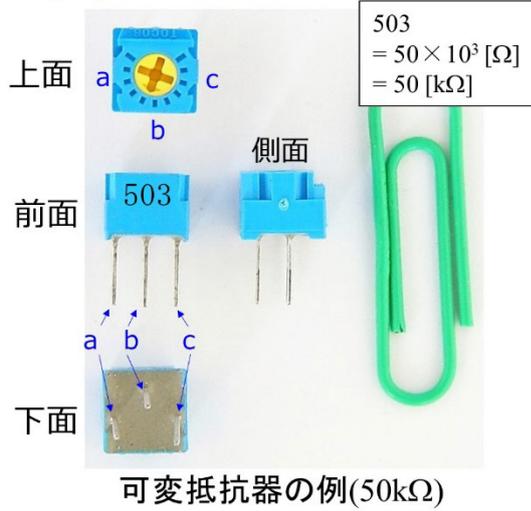
AMラジオICの記号

32

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



33

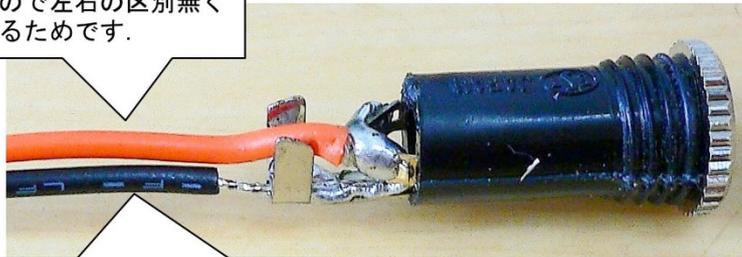
ボリュームの外観と記号です。上面の黄色い部分が回転可能です。この十字の凹みにねじ回し（プラスでもマイナスでも良いです。）を挿入して、黄色い部分を廻すと、内部ではb電極の先端が抵抗面を摺動して、a-b間の抵抗値、およびb-c間の抵抗値が変化します。a-c間の抵抗値は常に一定です。a-c間の抵抗値がボリュームの前面に印字されています。503 →  $50 \times 10^3 = 50$  [kΩ]です。a-b間の抵抗値が10[kΩ]であれば、b-c間の抵抗値は $50 - 10 = 40$  [kΩ]です。

## 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。

34

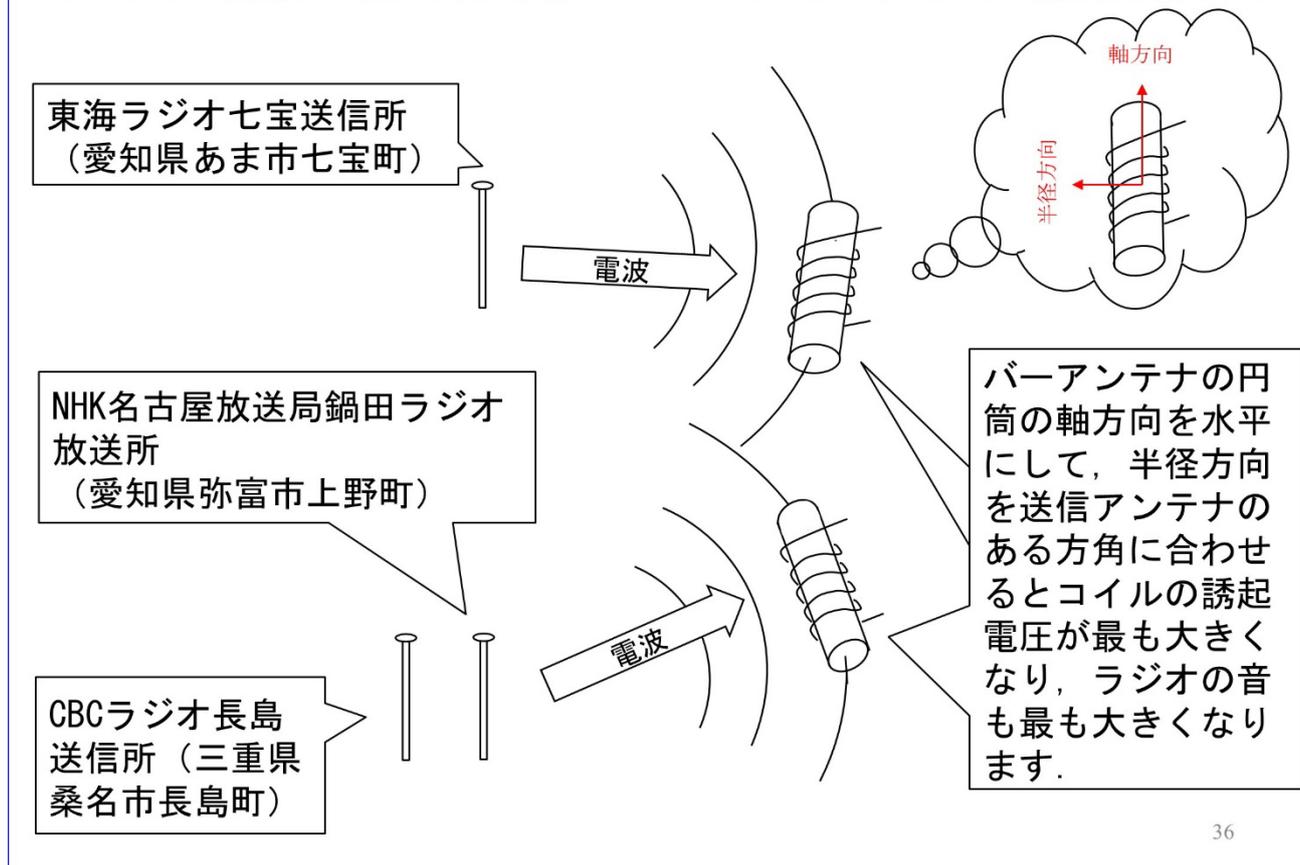
イヤフォンジャックはカバーをねじ止めできるようになっています。カバーを外すと図上右の電極が現れます。ステレオイヤフォンジャックなので、左右チャンネル用の2個の短い電極と、グラウンド (GND) 用の1個の長い電極があります。本講座のラジオはモノラル (1チャンネルのみ) なので、左右チャンネルを区別することなく、両電極をまとめて一本の電線に半田付けします。この電線はグラウンド線と区別するために明るい色の被覆の線を用いると良いです。グラウンド用の電極には暗い色の被覆の線を用いると良いです。GND用端子を間違えることなくGND (電池のマイナス電極側) に接続するためです。これを間違えると、放送受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, 3.5mm φ, 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	〃

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, ステレオイヤホンに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 対応イヤホンではイヤホンジャックと合いません.

## 10. 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。

2017年9月

著者：古橋武  
所属：名古屋大学名誉教授（令和2年4月より）  
連絡先：furuhashi.takeshi at gmail.com