

# 負性抵抗の特性測定

バイオエレクトロニクス研究室

担当者: 鈴木誠一・菅原一輝

seiichi@st.seikei.ac.jp

<http://www.ml.seikei.ac.jp/biolab/>

# 注意事項

<<安全第一>>

- 電流計(テスタ)を**直接電池につなぐな**。電流計を壊した班は減点1
- 電圧計の**プラス・マイナスを間違えるな**。

# 実験のポイント

## <<構造の認識>>

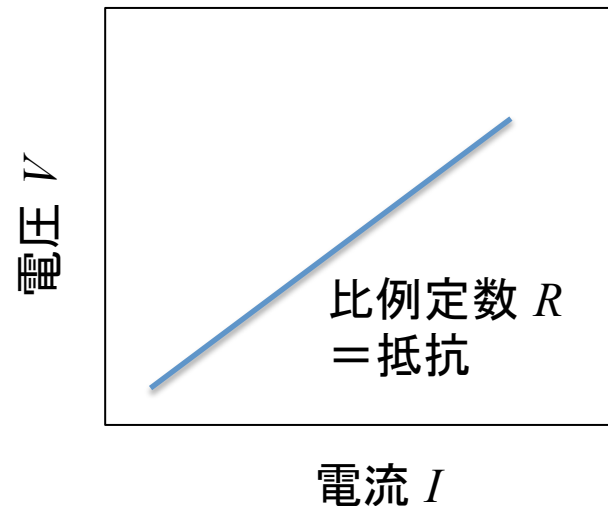
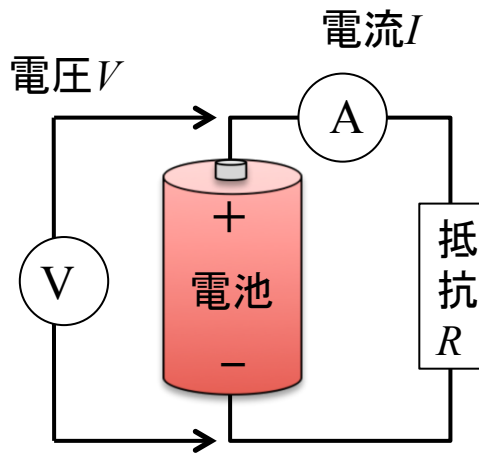
自分の力でモノの構造を読み取り、理解する能力を身につけよう。

- 抵抗とラムダ・ダイオードの電圧・電流特性を必ず計ること。
- 測定する抵抗は $1\text{k}\Omega$ [茶黒赤]

# オームの法則

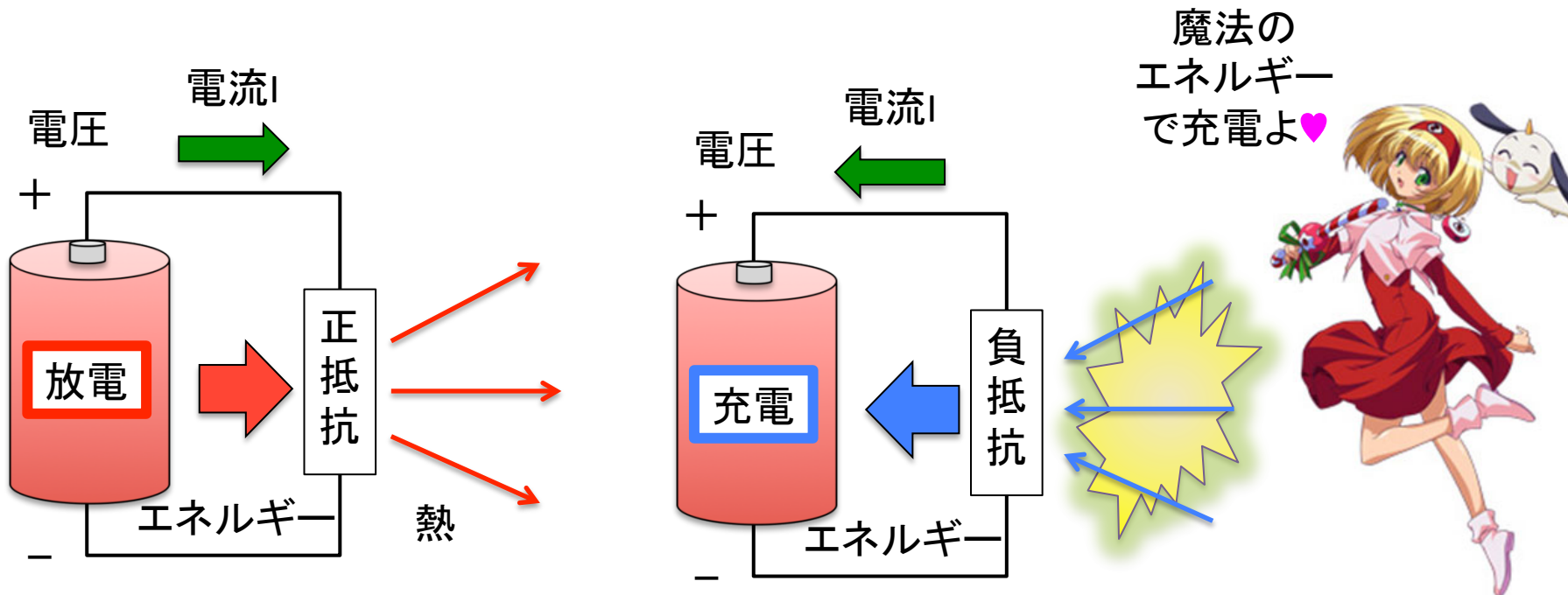
$$V = IR$$

それは電気の世界でもっとも有名な法則だ。  
抵抗 $R$ に電圧 $V$ をかけたとき、流れる電流を $I$ とする。  
電流 $I$ は電圧 $V$ が高くなるほど大きくなる。  
つまり、抵抗は正の値をとる。



# 負性抵抗は存在するか？

では、オームの法則において、負の抵抗を持つような素子は存在するのか？



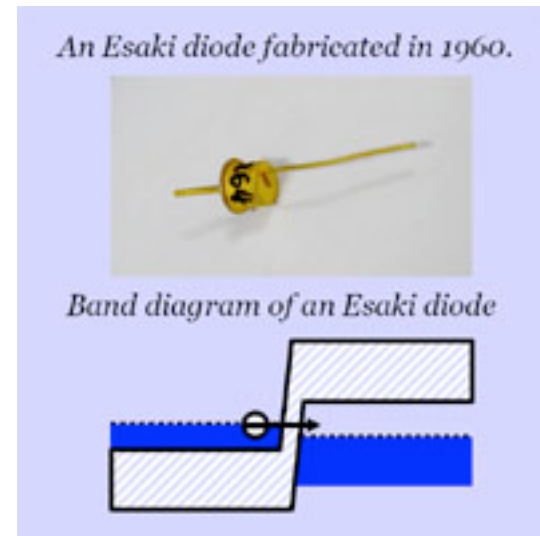
もしも負の抵抗を持った素子があれば、空中からエネルギーを集めて電池を充電できる。それは魔法のデバイスだ！

# エサキ・ダイオード

エサキ・ダイオードは量子効果を利用した負性抵抗素子。**負の抵抗**を持っている。

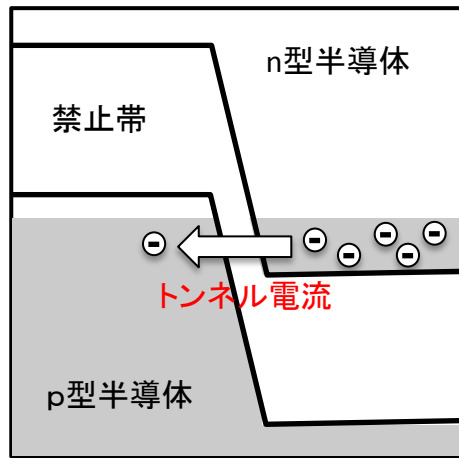


江崎玲於奈博士  
1973年、ノーベル物理学賞

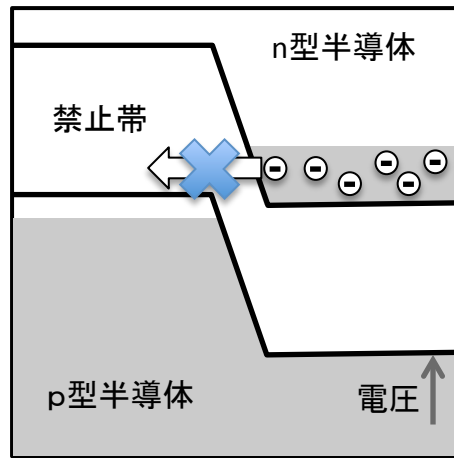


エサキ・ダイオード(トンネル・ダイオード)は量子力学的現象であるトンネル効果を電子回路に実用化した量子デバイス。

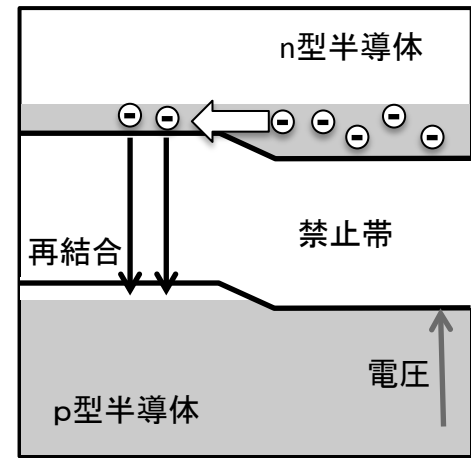
# エサキ・ダイオードの動作原理



(a) 電圧が低いとき、トンネル電流が流れる



(b) 電圧が中程度のとき、電流が流れない。

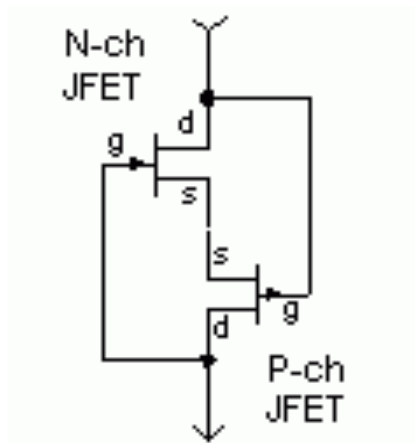


(c) 電圧が高いとき、再結合電流が流れる。

電圧が低いときはトンネル効果で電流が流れ、電圧が高いときは普通のダイオードとして電流が流れる。その中間の電圧では電流が流れない。

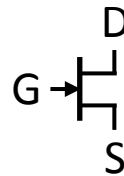
# ラムダ・ダイオード

エサキダイオードは入手困難なので、負性抵抗素子を自分で作っちゃいました。



Lambda diode circuit

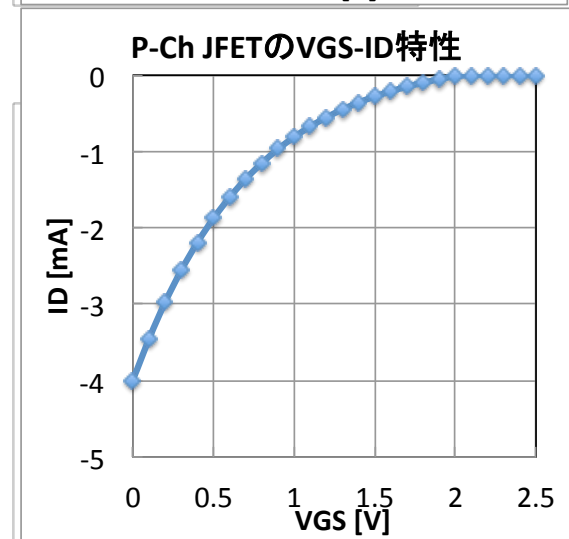
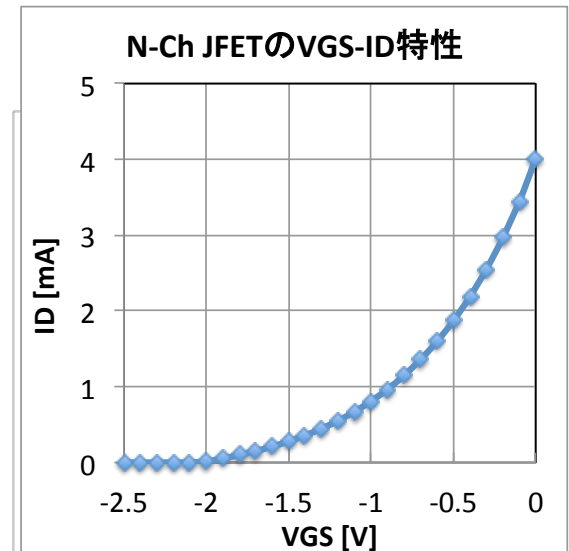
ラムダ・ダイオードの構造。  
2つのJFETを組み合わせて  
非線型な電圧電流特性を  
作り出す。  
この特性は自分で測ってみ  
よう。



N-ch JFET  
GS間にかかる電  
圧 $V_{GS}$ でDからSに  
流れる電流 $I_D$ を  
制御する。



P-ch JFET  
NチャンネルJFET  
と同様の動作。  
極性のみ逆にな  
る。

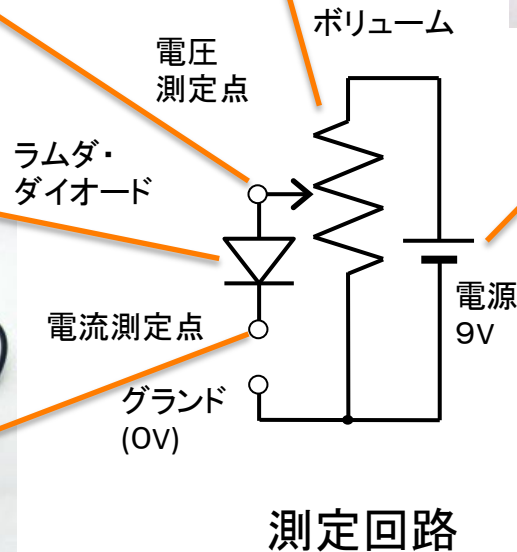
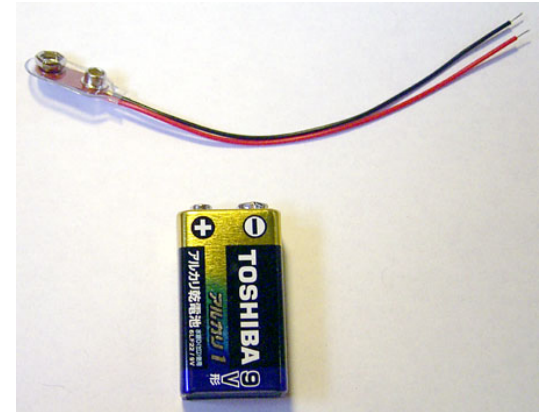
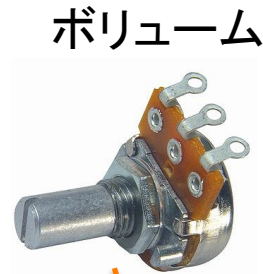




# 実験

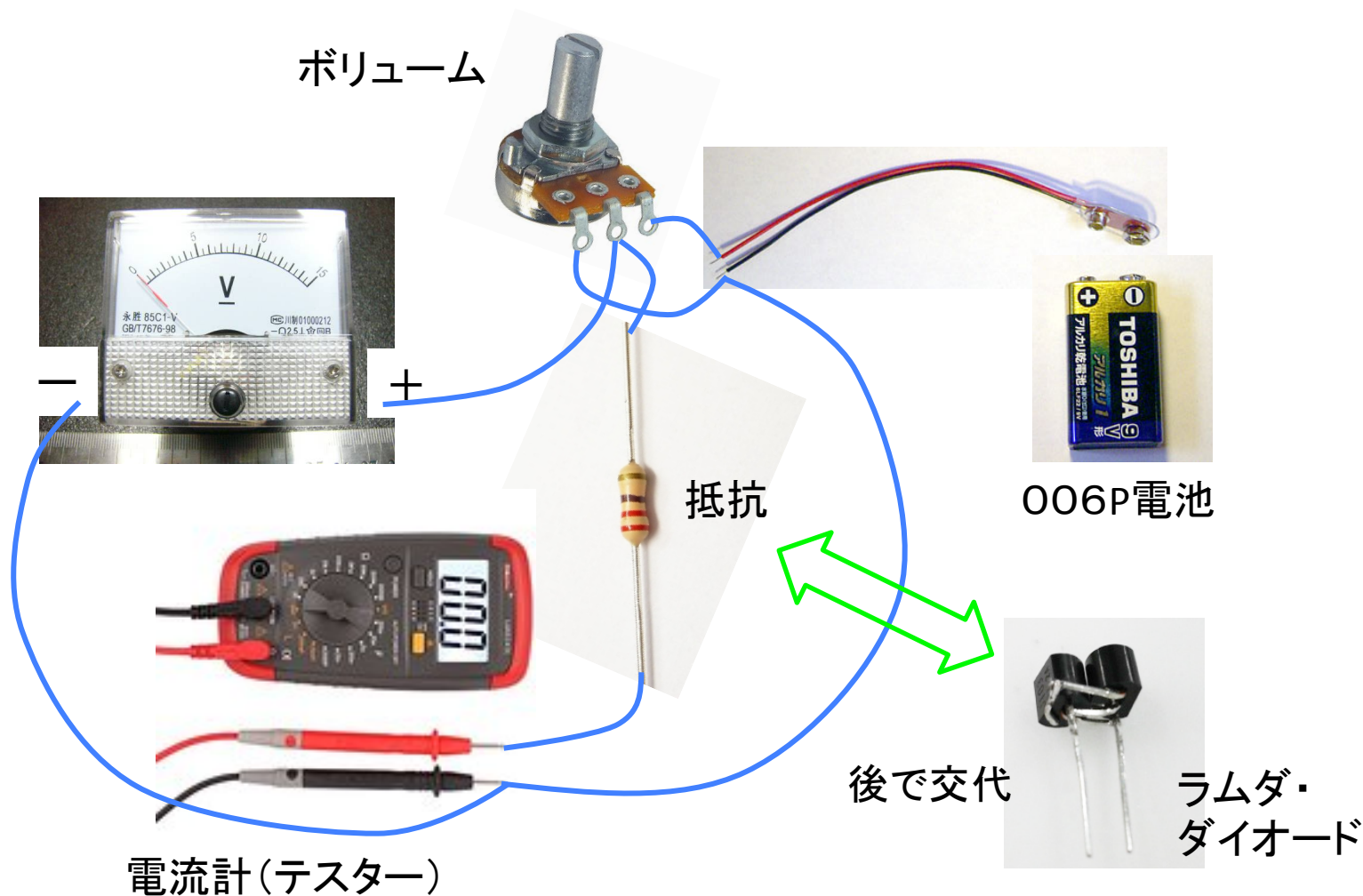
抵抗とラムダ・ダイオードの電流電圧特性(V-I特性)を測ろう。

はじめは抵抗で  
測定してみる。



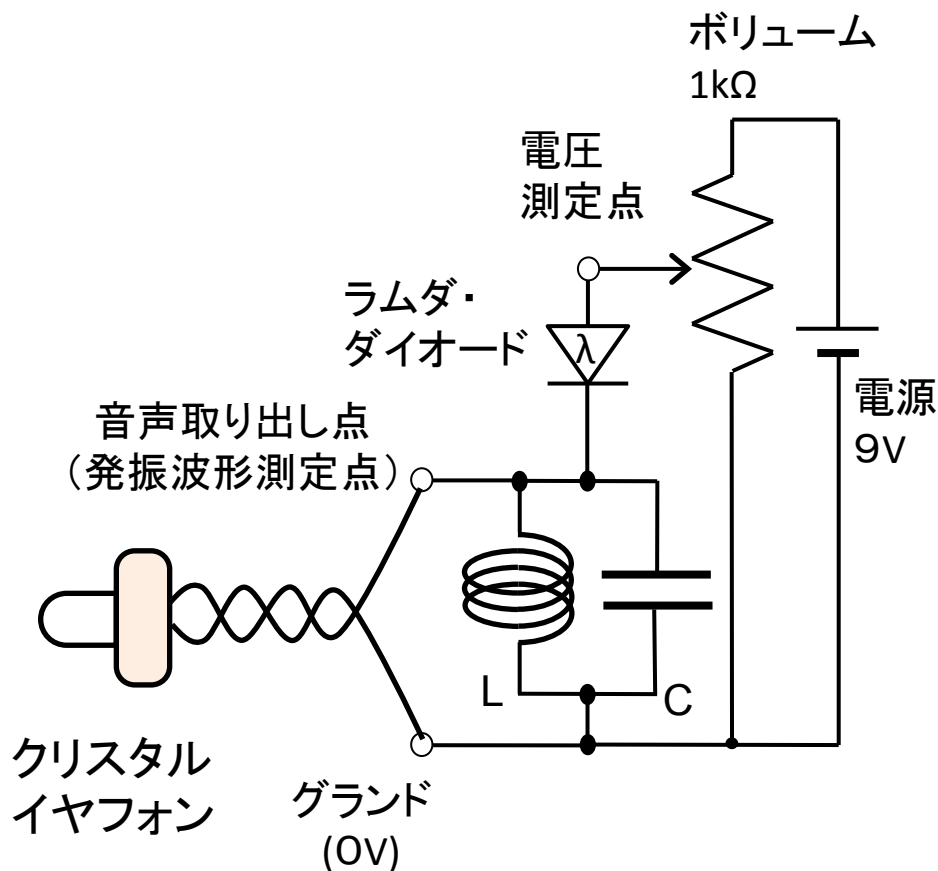
# 測定回路

こんな回路がブレッドボードで作れればOK!



# 発振回路

ラムダダイオードのV-I特性が測れたら発振回路を作ってみよう。  
5Vの電圧をかけると発振して、イヤホンから音が聞こえる。ハズだ。

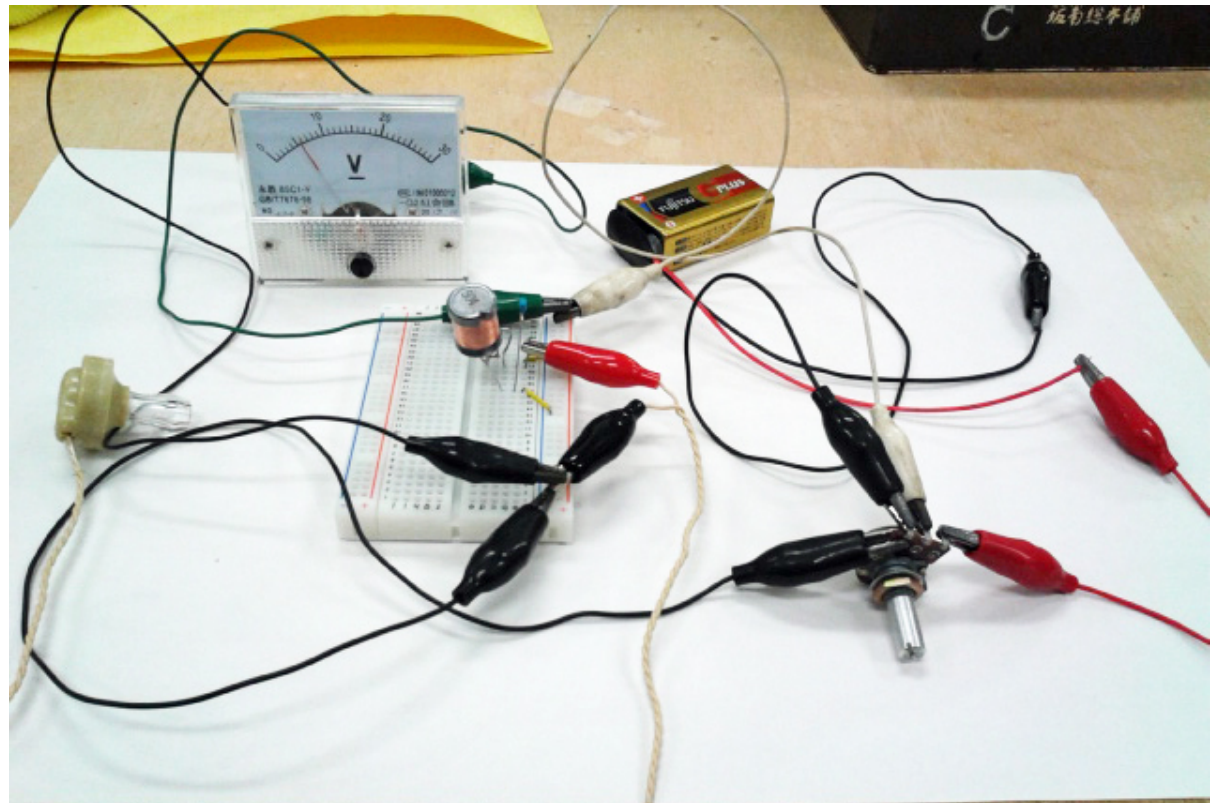
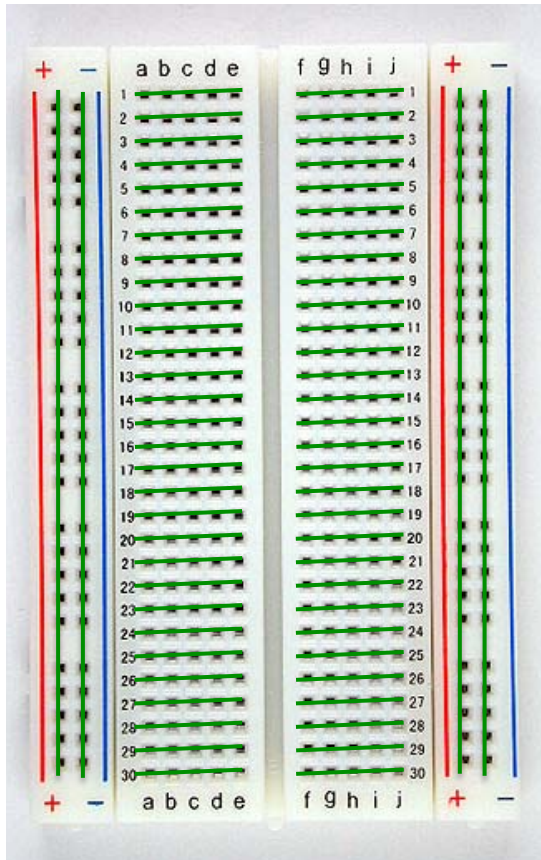


先ほどの測定回路の電流測定部に  
コイルLとコンデンサCを並列に差し  
込むだけ。

コイルの両端にイヤホンを接続して  
発振音を聞いてみよう。  
案外大きいので、はじめはイヤホン  
を耳から外して聞こう。

# 発振回路の配線

発振を確認したら、コイルと並列に色々なコンデンサを接続してみよう。



ブレッドボード

# 周波数を測定

コンデンサの値を変えたとき、音の周波数がどう変わるか調べてみる。  
周波数は楽器や発振器の音と比較して、音階表から求める。

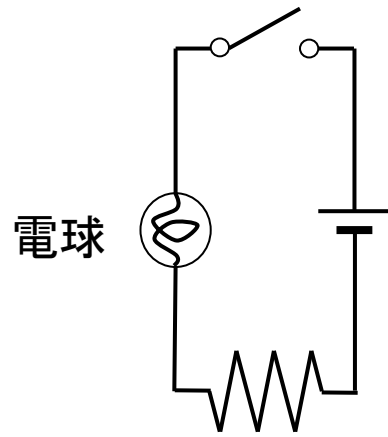
## コンデンサの色と値

- 黄 0.10 $\mu$ F
- 赤 0.22 $\mu$ F
- 橙 0.33 $\mu$ F
- 緑 0.47 $\mu$ F
- 青 1  $\mu$ F



音階	周波数
C	261.62
C#	277.18
D	293.66
D#	311.12
E	329.62
F	349.22
F#	369.99
G	391.99
G#	415.30
A	440.00
A#	466.16
B	493.88

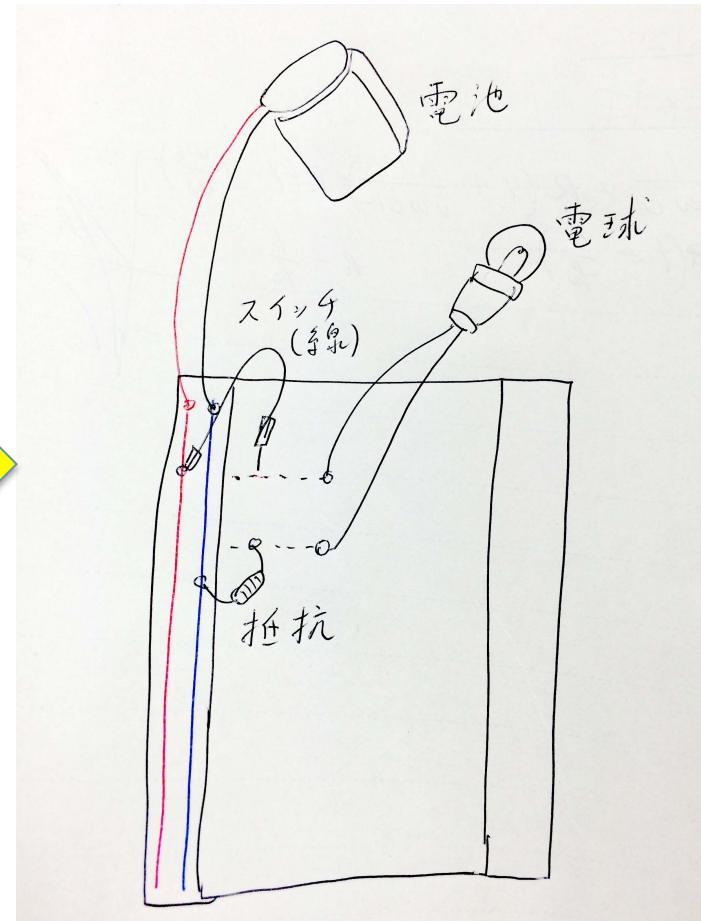
# 回路図と実体配線図の違い



電球

回路図: 電気的な構造と  
接続が分かる。

今日のお仕事



実体配線図: 実物の接続が分かる。

# 周波数はどうして決まるの？

コンデンサの電界エネルギー $U_E$ とコイルの磁界エネルギー $U_H$ が入れ替わることで発振が起きる。

( $V, I$ は最大の電圧と電流)

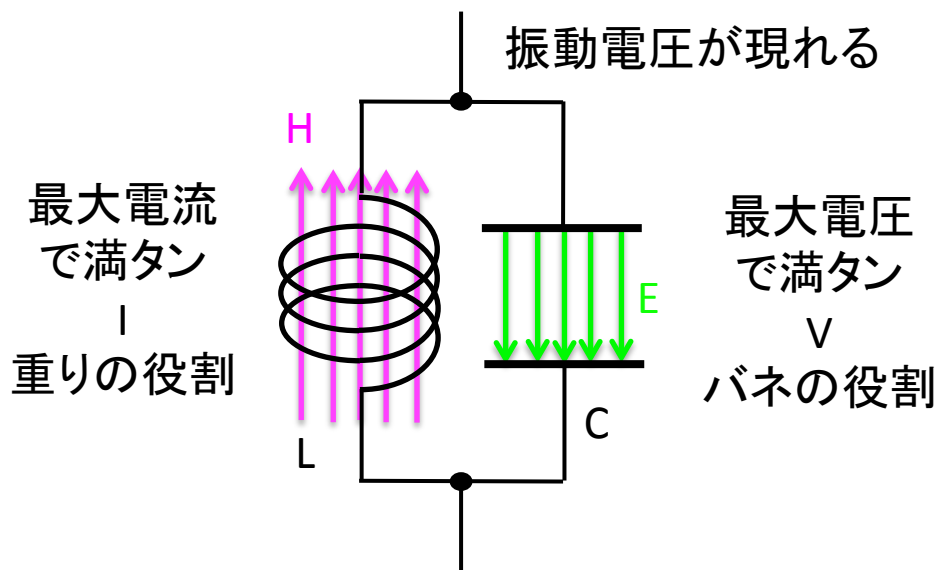
$$U_E = \frac{1}{2}CV^2 \quad U_H = \frac{1}{2}LI^2$$

周波数 $f$ はコンデンサの容量 $C$ とコイルの誘導 $L$ で決まる。

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

$Q=CV$  から  $C \frac{dv}{dt} = \frac{dQ}{dt} = i$

電磁誘導の法則から  $v = -L \frac{di}{dt} = -LC \frac{d^2v}{dt^2}$



$v$ の解を求めると

$$v = \exp\left(j \frac{1}{\sqrt{LC}} t\right)$$

で角周波数は  $\frac{1}{\sqrt{LC}}$  である事が分かる。

# なぜ発振する？

負性抵抗領域では・・・

①Cが充電されて電圧が高くなると、Lに下向き電流が流れ出す。このときλダイオードの電圧は下がり、電流が流れて、Lに大きな磁気エネルギーが溜まる。

②放電してCの電圧が下がると、コイルには上向き電流が流れだす。λダイオードの電圧は上がり、逆電流が減る分、コイルの逆の磁気エネルギーは大きくなる。

コイルの電流は常に、λダイオードに後押しされ、その分エネルギーが与えられ、発振動作が続く。

