工学ワークショップ

電子・機械加工

担当　森下 武志

桐蔭横浜大学

医用工学部　臨床工学科

はじめに

桐蔭横浜大学臨床工学科で展開されていた工学へのステップという授業は、準必修科目として位置付けられ、学科にとって名物科目の一つでした。この科目は、基礎的な数値処理、片対数グラフの書き方や最小二乗法など工学者にとって必須の基礎知識を学び、さらに簡単な ME 機器の製作実習として“ウソ発見器”と呼ばれている電流計を1年生全員が、My 計測器の製作にチャレンジしていました。

本科目は独自のカリキュラムを通して、ものづくりの楽しさや難しさ感じながら、その過程で必要とされる基本的な知識や実践力を習得することを目的としています。授業のはじめでは、ウソ発見器製作実習とその評価実験でみなさんが必要となる有効数字、実験データ処理方法や関数電卓の扱い方などを中心に学習し、中頃から、ハンダ付けなどの基本的な電子工作技能や初歩的な技術を実践します。最後に、各自がこの授業を通して学んだことの報告や実験レポート、オリジナル実験などについてプレゼンテーション資料を作成し、実際に人前で発表することで、単にプレゼンテーション能力を身につけるだけでなく、科学技術の理解や魅力を深めます。

2022 年度（令和 4 年度）カリキュラム編成の改訂により、この科目はなくなりましたが、その一部を工学ワークショップに引き継ぎました。この授業をきかっけに、技術の楽しさを感じ取っていただければ幸いです。

2022 年 5 月 13 日

森下　武志

年度 前期　講義計画

	講義日	講義内容	備考(確認)
1	月　日	オリエンテーション、有効数字	M201
2	月　日	計測データ処理、グラフの作成方法	〃
3	月　日	片対数グラフの使い方・関数電卓の使い方	〃
4	月　日	最小二乗法	〃
5	月　日	電子工作①：ハンダ付けの練習	〃
6	月　日	電子工作②：嘘発見器の作製①	〃
7	月　日	電子工作③：嘘発見器の作製②	〃
8	月　日	電子工作④：嘘発見器の作製③	〃
9	月　日	電子工作⑤：嘘発見器の作製④、(動作確認実験,グラフ,回帰式)	〃
10	月　日	パワーポイントを使用したプレゼンテーションスライドの作成	J101
11	月　日	学習成果の発表①	
12	月　日	学習成果の発表②	
13	月　日	学習成果の発表③	
14	月　日	学習成果の発表④	
15	月　日	予備日	
16	月　日		

（第１週目）

有効な数字を知る（有効数字）

（使える数字で、実際に使う数字の桁数）

はじめに

臨床工学技士をめざす諸君にとって求められる力は、医療に関する知識や技術だけでなく、高度化する様々な医療機器で利用されている工学的な知識や技術・技能が必要とされる。そこで、この授業では工学を理解するために必要となる、ほんとの基礎となりベースとなる知識や技能、技術を習得し、将来の臨床工学技士へのステップとなることを期待している授業である。

我々は量を数値で扱わなければならない

技術に触れるときや、さまざまなデータを扱うとき（医療においても）、そこで扱う数値は、漠然と扱う訳にはいかないことは、誰もが感覚的に感じることである。データは何も無いところから沸いてくることは無く、何らかの**計測器を読む**ところから生じてくる。例えば、メーターの針を読むとか、定規の目盛りを読む、といった具合である。

メーターを読むと誤差が含まれてくる

様々な計測器が世の中に存在するが、誤差を生じない計測器はない、と心得て大きな間違いではない。

そこには、①目盛りの読みによる誤差、②計測器そのものが持つ誤差、③測定する人による誤差、④測定する環境の違いによる誤差など様々である。

まずは、目盛りの読みによる誤差を考える

目盛りを正しく読もうとしたとき、どこまで目盛りを読むのか？という疑問を持つ人が多いのではないであろうか。JIS（日本工業規格）で規定されている（標準化されている）有効数字の定義での読み方は、最小目盛りの 1/10 まで「推読する」、ということになる。目盛りのあるところを読むのは直読といい、一方、有効数字の解釈から<u>最小目盛り間を目分量で読む</u>ことになるので、実際には推測して目盛り間を読むので推読と呼んでいる。これにより最小目盛り以下の数値には当然、誤差が含まれてくる。しかし、これは、許容範囲として、誤差範囲として認められているので、あまり神経質になることはない。

読んだ数値の使える数値、桁数を考える

せっかく読んだ数値を、どこまで**有効**な**数字**として使うか、これがそもそもの**有効数字**である。つまり、有効数字は「得られた数値のうち誤差が含まれる最初の桁までが有効」と JIS で規定されている。

例えば、定規（スケール）で測定したとき、メータの針を読んだ時のことを改めて考えてみる。

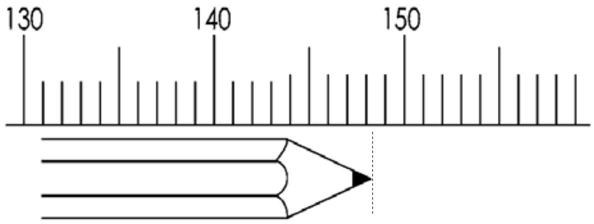


図１　スケールで鉛筆の長さを読む場合

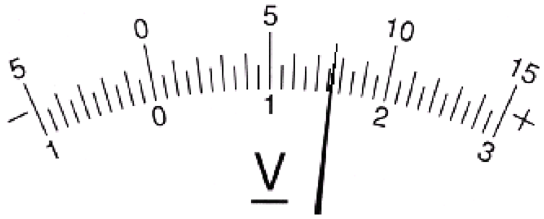


図２　直流電圧計で電圧を読む場合

【例題１】

図１と図２の長さと、電圧計を直読しなさい。（目盛りのあるところまでで読む）ただし、図２の電圧は、15V レンジに接続されている場合と３V レンジに接続されている場合のそれぞれを読むこと。

鉛筆の長さ：＿＿＿＿＿＿＿[mm]

電圧計（15V レンジの場合）＿＿＿＿＿[V]、　3V レンジの場合　＿＿＿＿＿[V]

【例題２】

図1と図2の長さと電圧を JIS で規定された範囲で読みなさい。（有効な数値として扱えるレベルで推読しなさい）　ただし、図２の電圧計は 15V レンジとする。

鉛筆の長さ：＿＿＿＿＿＿＿[mm]、電圧計（15V レンジの場合）＿＿＿＿＿＿＿＿[V]

★ 工学的に、科学的に扱う有効数字

今、例題２で読んだ計測値、これが有効数字である。なぜなら、「**得られた数値のうち誤差が含まれる最初の桁まで有効とする**（つまり使う数字）」、のだからである。これが、有効数字との出会いである。ではここで得られた有効数字をどう使っていくのか、これは次に示すように色々な場合があるので、しっかりと慣れるまで訓練しなければならない。

有効数字のもう一つの定義

このように有効数字というデータや数値が得られると、次に、社会ではこれらの数値を使った、データ処理や計算に扱われることになる。すると、とたんに“様々な桁数の有効数字”や“様々な小数点の位置”の数値が出てくる。これではどのように扱ったらよいのか困るので、これについても JIS によって定義され標準化されている。

このポイントは**有効数字の扱い方**に関する定義である。「測定結果などを表わす数字のうちで**位取りを示すだけのゼロを除いた意味のある数字**」となっている。ここで早合点していけないのは、この文章の中で**“位取りを示す”**が最優先事項である。それは、場合によってゼロも０というしっかりとした意味を持つ場合があるからである。つまり、なんでもかんでも０を除いてよいのではないということ。これについては、以降の演習の中で明確に身に付ける。

1 有効数字の表し方　【演習課題で慣れること】

１） 最も左端の数字が０でない時は、左から数えて数字のある所までの桁数が有効数字として扱う桁数。

例えば、　987.65　有効数字５桁

２） ０でない数字に挟まれた０は有効である。

例えば、　1230.4　有効数字５桁

３） ０でない数字より前（大きい位）に０がある場合は、その０は有効でない。

例えば、　0.000003　有効数字１桁
　　　　　0.0045　有効数字２桁

４） 小数点より右にある（下の桁）０は、有効である。

例えば、　0.560　有効数字３桁
　　　　　31.010　有効数字５桁

これは少数第3位まで計ったよ！と少数第３位が０であるということを意味しており、これはしっかりとした意思表示の意味がある。もし、31.01 と書かれていたら、これは少数第３位を計測していない、という意思表示で、少数第３位は０なのか１なのか、２なのか・・わからない。

なお、少数がない数(＞０)の最後に０がある場合、その０が有効であるか、有効でないかは判断できない。

例えば、単に 1000　という値だけがあった場合、これが有効数字４桁なのか、１桁なのかは、これだけでは判断することができない。1000 と表せば有効数字は４桁となるし、１と表せば有効数字は１桁とも表現できてしまう。そもそも**有効数字はどこまで計測したのか、その背景に依存した数値**の範囲が示されている。

★ $\boxed{2}$ そこで、科学的表記法がある　【演習課題で慣れること】

この表記法は、上記の例で、１０００という値を

1×10^{3}　と表せば、有効数字１桁であり、
1.000×10^{3}　と表せば、有効数字４桁と明確にすることができる。
先の 3)の 2 つめは有効数字２桁であるので、4.5×10^{-3} のように表される数だとわかる。

このように上記は、有効数字の桁数を明確に表せる型であり、

$N\times10^{n}$　（n は整数、N を仮数（かすう）と呼び、$1\leqq N<10$ の範囲で表す）

という型で表す方法を、科学的表記法（Scientific Notation）と呼んでいる。

ここで、**N の部分の桁数は有効数字**を示している。

また、非常に大きい数字や非常に小さい数字を表す時に便利であるので科学技術の分野では頻繁に利用されている。

$\boxed{3}$ 有効数字を考慮した計算例

１）足し算、引き算の場合は、小数点をそろえて計算し、最後の結果で**小数点以下の桁数が一番少ない桁数までに合わせて四捨五入する**。

【加算の場合】

ｉ）　1. 25＋4. 372　のような場合

$$\begin{array}{r}1.2\underline{5}\\ +4.37\underline{2}\\ \hline 5.6\underline{2}\underline{\underline{2}}\end{array}$$

・・・　5 は、不確定な値である。
・・・　2 は、不確定な値である。
・・・　$\underline{2}$は、５＋７の結果現れた不確定な２である。
また、$\underline{\underline{2}}$は 1. 25 の測定には測定器の精度上測定され得なかった桁であるため計算が不能であり、しかも$\underline{2}$にすでに不確定さがあるため、$\underline{\underline{2}}$は、有効数字とはなり得ない。

よって、1. 25+4. 372＝5. 62　である。

不確定さを含む最小桁の誤差範囲の考え方

【加算の場合】

ⅱ）　6. 42＋4. 37　のような場合（有効数字の桁が増える場合）

$6.4\underline{2}$　・・・　２は、不確定な値である。

$+4.3\underline{7}$　・・・　７は、不確定な値である。

$10.7\underline{9}$　・・・　９は、$\underline{2}$+$\underline{7}$ の結果現れた不確定な 9 である。また、$\underline{2}$ および $\underline{7}$ は、それぞれ±1 の値をとり得る。よって、結果の 79 は、77 から 81 までの値である可能性がある。このように加算が、多くなると、3 桁目(この場合少数第 1 位)の値の不確定さが大きくなる可能性があり、有効数字の最小桁が、移動することがある。

　この場合には、有効数字としては 10. 79 までとり得るが、“最小桁には±２の不確定さが含まれていることを前提”とする。

よって、6. 42＋4.37＝10. 79　であり、
厳密には 6. 42＋4.37＝10. 79±0. 02　と考えるべきである。

ⅲ）　4. 37－1. 25　のような場合

$4.3\underline{7}$　・・・　$\underline{7}$ は、不確定な値である。

$-1.2\underline{5}$　・・・　$\underline{5}$ は、不確定な値である。

$3.1\underline{2}$　・・・　$\underline{2}$ は、$\underline{7}$－$\underline{5}$ の結果現れた不確定な２である。
２）の場合と同様に、$\underline{7}$ および $\underline{5}$ に±２の不確定さがあるとすれば、$\underline{2}$ には、±２の不確定さを含むことになる。

よって、4. 37－1. 25=3. 12　であり、
厳密には 4. 37－1. 25=3. 12±0. 02 と考えるべきである。

ⅳ）　$4.3\underline{7}-4.3\underline{0}=0.0\underline{7}$　となり、有効数字 1 桁になる場合もある。
　これを科学的表記法で示せば　7×10^{-2}　となる。

このように測定値の差を計算するときは、**必然的に全体の数値が減り、なおかつ不確定さも増していることに注意**をしなければならない。

２）乗算や除算の場合は（測定値の場合を含む）計算後に**有効数字の桁数が最も小さい桁（有効数字の桁数）に合わせて四捨五入する。**

【乗除の場合の考え方】

ⅰ）4.12×5.16　のような場合

```
     4.12
   ×5.16
   ------
    24722
    4122
  20602
  ------
  21.2592
```

2は、不確定な値である。
6は、不確定な値である。
2472は6が不確定であるために4.12×6によって現れた不確定な値である。
2は、1×2の結果現れた不確定な値である。
60は、5×2の結果現れた不確定な値である。
592は、その上の桁の2がすでに不確定な値であるため、結果として有効数字になり得ない値である(と考える)。

よって、4.12×5.16＝21.3となり、有効数字3桁で与えられる。
（21.3の3は不確定な値であることに変わりはないが、有効な数値として扱う）

ⅱ）4.12×0.53　のような場合

```
     4.12
   ×0.53
   ------
     1236
   2060
   ------
   2.1836
```

2は、不確定な値である。
3は、不確定な値である。
1236は3が不確定であるために4.12×3によって現れた不確定な値である。
60は、5×2の結果現れた不確定な値である。
836は、その上の桁の1がすでに不確定な値であるため、結果として有効数字になり得ない値である(と考える)。

よって、4.12×0.53＝2.2となり、結果の有効数字は2桁となる。

ⅲ）　4.12 ÷ 2.14　のような場合

```
           1.925
      ________
  214 ) 412
        214
        ----
        1980
        1926
        ----
          540
          428
          ---
          112
```

2および4は、不確定な値である。

ここに現れてくる値は、すべて不確定な値であり、しかも2および4以下の桁であるため、有効数字とはなり得ない。

12は、同様に有効数字とはなり得ない。1については、5−4の結果現れたもので、有効数字の最小桁としてあつかい得る(と考える)。

よって、4.12 ÷ 2.14＝1.93　となり、結果の有効数字は、3桁で与えられる。

以上のような理由から、種々の計算によって定められる有効数字の桁数は、

・**加減算の場合は、結果の桁数が増減することがある**が、

・**乗除算の場合は、測定された有効数字の桁数の小さいものにそろえられる**

上記の１）２）の説明のように有効数字の意味を考えれば、その計算方法の考え方が理解できる。その他、原則的な考え方として、

３）数値計算で、答えの有効数字が指定されている時は、**途中の段階ではそれより１桁以上多く計算**し、最後の**結果を四捨五入**して指定された有効数字にする。

４）定数や物理定数が入る計算など、ある**測定値を整数倍する（又は、整数で割る）場合は、測定値の有効数字の桁数に合わせる**。（有効数字は変えない）

$$4\pi r^2 = 4\times3.1416\times(2.674\mathrm{m})^2 = 89.85\ \mathrm{m}^2$$

ただし、2.674 が有効数字 4 桁なので、π はそれより 1 桁多くし、5 桁で計算することになっている。（π などの物理定数が入る場合）

５）計算の途中では四捨五入しない。特に、途中で引き算が含まれる場合は前述のように、誤差が大きくなるので注意する。（３）の原則を利用）

★ $\boxed{4}$ 有効数字の桁数を指定された場合の四捨五入　【演習で慣れること】

前もって有効数字の桁数が指定されている場合、指定した桁数の１つ下の桁を四捨五入する。次に例を示す。

１）[有効数字３桁]　51. 3<u>4</u>99　の場合、上から５，１，３までが 3 桁なので、その下の４で四捨五入する。よって、

51. 3　となる。（51.4 ではない）

また、科学的表記法で表すと

5.13×10

２）[有効数字４桁]　2. 345<u>0</u>0　の場合、２，３，４，５までが４桁なので、その下の０で四捨五入する。よって、

2. 345　となる。この場合、科学的表記表は同じ(2. 345)。

３）[有効数字２桁]　0.0023<u>0</u>4　の場合、２，３までが 2 桁なので、その下の０で四捨五入する。従って、

0.0023　となる。

なお、科学的表記法では

2.3×10^{-3}　となる。

【演習 1】工学へのステップ　　有効数字　　　　　　　　　　年　　月　　日

学籍番号：　　　　　　　　　　　　　学生氏名：

注意：解答を導き出す過程（考え方や計算方法）を明確にすること

【1】次の計測値(数)の有効数字は何桁か。（ただし、次の数値は計測した読み取り値とする）

1. 1234
2. 123400
3. 1234×10^{2}
4. 1.234×10^{5}
5. 0.1234
6. 0.012340
7. 0.1234×10^{3}
8. 1.2340×10^{-3}
9. 0.000000012

＜解答欄＞

1.　　　　　　桁	2.　　　　　　桁	3.　　　　　　桁
4.　　　　　　桁	5.　　　　　　桁	6.　　　　　　桁
7.　　　　　　桁	8.　　　　　　桁	9.　　　　　　桁

【2】次の数値(計測値)は、有効数字何桁か。

1. 211.349
2. 1.3450
3. 0.0024
4. 1.034×10^{2}
5. 0.002340
6. 0.330×10^{-3}
7. 23457.000
8. 4143500
9. 1.2034×10^{4}
10. 0.0002

＜解答欄＞

1.　　　　　　桁	2.　　　　　　桁	3.　　　　　　桁
4.　　　　　　桁	5.　　　　　　桁	6.　　　　　　桁
7.　　　　　　桁	8.　　　　　　桁	9.　　　　　　桁
10.　　　　　　桁		

【演習 2】 年　　月　　日

工学へのステップ　有効数字と四捨五入

学籍番号：　　　　　　　　　　　　　　　　学生氏名：

【1】　次の数字を指定された桁の有効数字で、四捨五入した上で示しなさい。なお、科学的表記法が使われていない桁の多い数は、**科学的表記法にせずに整数の**範囲で、概数を表す要領で示しなさい。

1. 51.3499　(3 桁)
2. 2.34500　(4 桁)
3. 0.002304　(2 桁)
4. 71.034×10^{5}　(3 桁)
5. 0.0234501　(3 桁)
6. 0.3320×10^{-3}　(2 桁)
7. 91245.6700　(5 桁)
8. 91245.6700　(3 桁)
9. 123950　(3 桁)
10. 7.7801×10^{-5}　(2 桁)
11. 7.7801×10^{-5}　(3 桁)
12. 2.99792458×10^{8}　(3 桁)
13. 2.99792458×10^{8}　(4 桁)

＜解答欄＞

1	8
2	9
3	10
4	11
5	12
6	13
7	

【演習 3】　　　　　　　　　　　　　　　　　年　　月　　日

工学へのステップ　科学的表記法

学籍番号：　　　　　　　　　　　　学生氏名：

【1】、(　)内に示した桁数までの有効数字を使って科学的表記法で表せ。(四捨五入すること)

1. 41000 (2 桁)
2. 41000 (3 桁)
3. 192.6 (3 桁)
4. 192.6 (2 桁)
5. 5383.95 (4 桁)
6. 5383.95 (2 桁)
7. 0.123049 (4 桁)
8. 0.123049 (5 桁)
9. 0.0009895 (3 桁)
10. 0.0009895 (2 桁)

＜解答欄＞

1	6
2	7
3	8
4	9
5	10

【2】 (　)内に示した桁数までの有効数字を使って科学的表記法で表せ。(四捨五入すること)

1. 41040 (3 桁)
2. 7096000 (3 桁)
3. 0.05353 (2 桁)
4. 0.00012300 (4 桁)

＜解答欄＞

1	3
2	4

【演習 4】　　　　　　　　　　　　　　　　　年　　　月　　　日

工学へのステップ　指数表示と科学的表記法

学籍番号：　　　　　　　　　　　　　　学生氏名：

【1】例題を参考にして、次の数字をそのまま有効数字として科学的表記法で示せ。

1. 123
2. 1234
3. 12345
4. 123456
5. 987654
6. 0.1234
7. 0.01234
8. 0.0012345
9. −123
10. −0.123

＜解答欄＞

1	6
2	7
3	8
4	9
5	10

【2】次の指数を含む計算をせよ。

注意：解答を導き出す過程（考え方や計算方法）をしっかり記載すること

1. $10^3 \times 10^5$
2. $10^3 \times 10^{-2}$
3. $10^4 \div 10^2$
4. $10^3 \div 10^{-2}$
5. $(10^{1/2})^6$

＜解答欄＞

1	4
2	5
3	

（第２週目）

実験計測結果のまとめ方（グラフにすることで視覚化）

１、はじめに

実験結果を整理してまとめる際、まず、計測データは表や図を用いて表す作業が必要である。そうすることにより、データ間の関係が明らかになり、結果の解釈や説明をするときにも有効な手段となり、相手に伝わりやすくなるばかりでなく、自分自身も説明がしやすくなる。

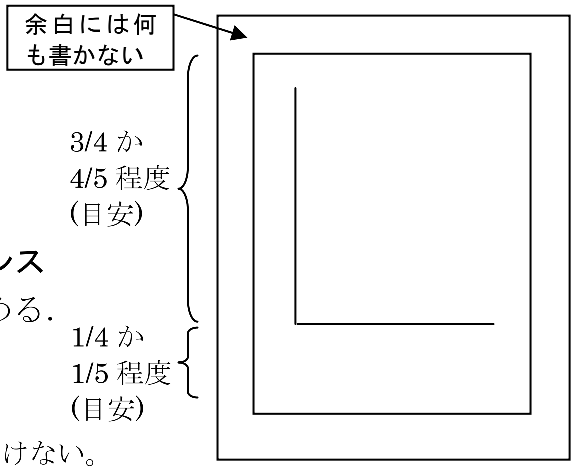
２、データを測定したら表にまとめる

データ解析を進める場合、データを表にまとめることは必須の作業である。この作業は、ある程度の慣れが必要であり、数値解析のために効果的な表を作れるようになるには、十分な練習と、わかりやすく表を作ろうとする心配り、細かい工夫などが必要となる。（今回はサンプルのデータをこちらから与える）

３、図の描き方（グラフの書き方）

⑴ 座標軸を決める前の考え方（縦軸と横軸のとらえかた）

２つの物理量 A,B があって、A の値によって B の値が決まるとき、物理量 A(**独立変数**という)を座標軸の x 軸に、物理量 B(**従属変数**)を y 軸にとるのが慣例である。例えば、ある回路があって、抵抗 R を変化させるとそれに伴って電圧 V が決まる場合、抵抗を x 軸に、y 軸に電圧をとる。



⑵ 標準的なグラフの書き方

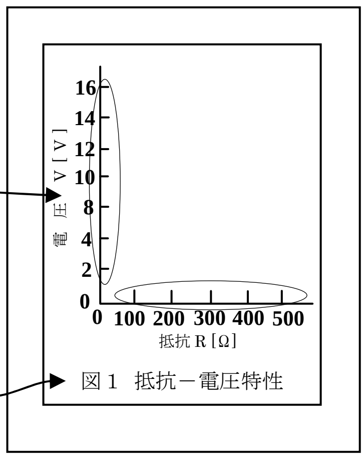
１）グラフは方眼紙の内側に書き、
周りの余白には何も書かない.

２）グラフの縦軸と横軸を方眼内に**バランスよく**なる目盛りのキザミと配置を決める.
（例えば，1cm を１づつにしようかとか，
1cm を４にしようかなどを考える）
また、軸の先端には→や↑のような矢を付けない。

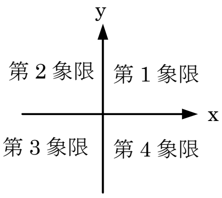
３）第１象限だけのデータでグラフを書く場合は，
右図のように，縦軸，横軸に書く目盛りは
内側になるようにする.（第１象限部分のみ）

４）縦軸と横軸の**名称**と**記号**、**単位**の順で書き，
単位は[　]でくくり、**ほぼ中央**に位置すること.

５）タイトルは図番を付けて**グラフの下に大きく書く**.



例えば，右図のようにグラフが
２つの象限（第１象限と第４象限）を
またぐ場合は、使う象限を示すために
x 軸の目盛りは上下に出っ張る.



直交座標系と領域の関係

ここと ここの空間を
使うので，目盛りは
上下にまたがる

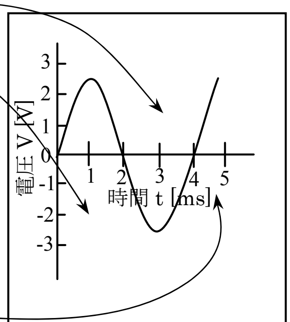
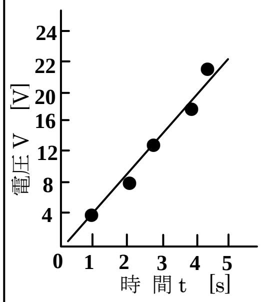


図２ 正弦波特性

６）データをプロットする．この時，書く点（●）は
見やすい大きさで書く(直径 2～3㎜ を目安).
時折、小さい点に（・）を書く者もいるが、
極端に小さくする必要はない.
（小さい点だからといって正確になるわけでなく、
グラフは、見やすさが優先される）



時間－電圧特性

７）最後に線を書くが，多くの場合誤差などを
含んでいるので，線の左右(上下)に点が均等に
散らばるように線を描く.
(とりあえずは、**エイ・ヤー**と書いてしまうこと。
実はこれが最小二乗法である。詳しい分析方法は次回以降で学習する）
又，複数のデータを１枚のグラフに書くときは点の形を（○，▲，■，□）などのように変えて書く.

このグラフより（この結果)、時間 t と電圧 V は**直線の関係にある**ことがわかるから

$$y = ax + b$$ （直線を表す式） より （式１）

$$V = at + b$$ （式２）

の式で表すことができることがグラフからわかった。従って、この式を使えば、**どの時間でも**、具体的な時間の数値（0.1 秒でも、100 秒でも）をこの式に代入すれば、**V が求まりその時の電圧がわかる**、ということである。つまり、ある実験結果によって、**時間がわかれば電圧がわかる**という関係式が導き出せた、ということであり、一方で、“たくさんのデータがたった一つ式にまとめられた” という大きな成果である。

【練習問題１】

次のデータを見ながら方眼紙に、バランスを考えて見やすい直交座標をとり、下記のデータを●印でプロットしなさい。プロットできた人は、プロットした点が左右に均等に分かれるような直線を、エイ・ヤーと書く“簡易的な最小ニ乗法”で、定規を使って直線を描きなさい。(方眼紙を縦置きで、横軸を時間、縦軸を電圧とする)

時間 t [ms]	1	2	3	4	5
電圧 V [V]	0.18	0.43	0.61	0.87	1.10

★ グラフが書けた人で余裕のある人は、グラフから直線の式を求めなさい。
(これを手続き(計算を)**回帰**といい、求められた式を**回帰式**という)

【練習問題２】

以下の太枠で囲われたデータを見ながら方眼紙に、バランスを考えて見やすい直交座標をとり、次に、下記のデータを●印でプロットしなさい。プロットできた人は、フリーハンドでプロットした点を、滑らかな曲線を描きながらむすび、グラフを完成させなさい。(グラフ用紙を横置きにして、横軸を抵抗、縦軸を電流とする)

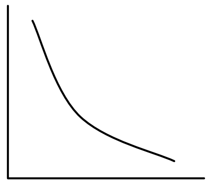
※１　自在定規がある場合は、曲線を描く際にそれを用いても良い。

※２　下表の空欄は、ここではあまり気にしなくて良い。

	抵抗 R[kΩ]	電流 I[μA]			
	2400	16.0			
	1500	24.0			
	1000	32.0			
	820	36.0			
	620	42.0			
	560	44.0			
	470	48.0			
	330	57.0			
	220	66.0			
	120	76.0			
	100	78.0			

● ここでもし、描いた線が直線にならずに曲線になってしまったとき

データをプロットしグラフを描いたら、どうも直線にならずに右図のような曲線の場合に出くわすことが度々ある。
その時の対応方法を以下で学習する。



（３）描いた線が直線にならずに曲線になったとき、**両対数グラフ用紙を使うと直線になる場合**

実験で現れるような曲線は、**指数関数（何乗と表す式）**で置き換えられる場合が多いので、

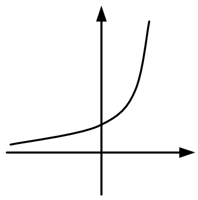
$$y \;=ab^{x} \qquad \text{（式３）}$$

つまり、式２を使って曲線を置き換えて表せることがある、ということである。

例えば、a=１のとき、ｂが２だとする。ｘが 0, 1, 2, 3 … となったときｙは、

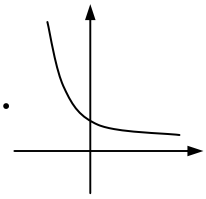
ab^{x}	1×2^{0}	1×2^{1}	1×2^{2}	1×2^{3}	…
y は	1	2	4	8	…

となる。



別の例で　a=1 で　b=0. 13 で、x が 0, 1, 2, 3・・・となったとき y は、

ab^{x}	（１・）0.13^{0}	0.13^{1}	0.13^{2}	0.13^{3}	・・・
y は	1	0. 13	0. 0169	0. 002197	・・・



このように x が変化すると、y が変化する曲線になる。

ここで、話しを最初に戻す。**直線がわかりやすくていいから、データから曲がって得られた曲線を直線にしたい**、ということであった。

そこで、いま式３のように何乗（べき数、べき指数、単に指数ともいう）となっている x が、式１の一次関数のように、**もしａと並んだ単なる乗数になれば**、わかりやすくなる。

そこで、この指数を式１のように、x を下におろし a の前に持ってくる、“対数”という指数と逆の関係にある考え方（関数）を用いる。

$$ab^{x} \quad \rightarrow \quad x\ ab^{x} \rightarrow \quad x\ \ ab \qquad \text{（こんな感じに）}$$

それをできるのが“対数”があり、ある指数（b^x）の対数をとると $x\ \log b$ となる。

また、対数の性質で、積は和にできるので、（ $\log ab\ \rightarrow\ \log a + \log b$ ）

ab^x の対数は、$\log a\ +\ x\ \log b$ と、できるのである。

つまり、(両辺に同じ操作をすれば、値は変わっても、左辺＝右辺、が成り立つ場合)

$y = ab^x$ の両辺の対数をとると、 $\log y\ =\ \log a + x\ \log b$

$Y\ =\ Bx\ +\ A$ というように（**式１）と同じ形になった。**

ただし、$Y = \log y$ 、$B = \log b$ 、$A = \log a$ を表す定数。
（ $\log y$ はどんな値かわからないが、ある数値になっていることは確か ）

【もう一つの直し方】　★ 片対数グラフ用紙 を使うと直線になる場合

グラフが曲がっているとき、その曲がり具合に合せる指数関数のもう一つの**例として、自然対数の底の e を使った表し方**がある。
（e＝ 2.71828182845904…という無理数（ネイピア数とも呼ばれる)）

$$y = a\ e^{bx} \qquad \text{（式４）}$$

先ほどと同様に、両辺を自然対数にする。

$$\log_e y\ =\ \log_e a\ +\ bx \log_e e$$
$$\log_e y\ =\ \log_e a\ +\ bx \qquad (\because\ \ \log_e e = 1\ )$$

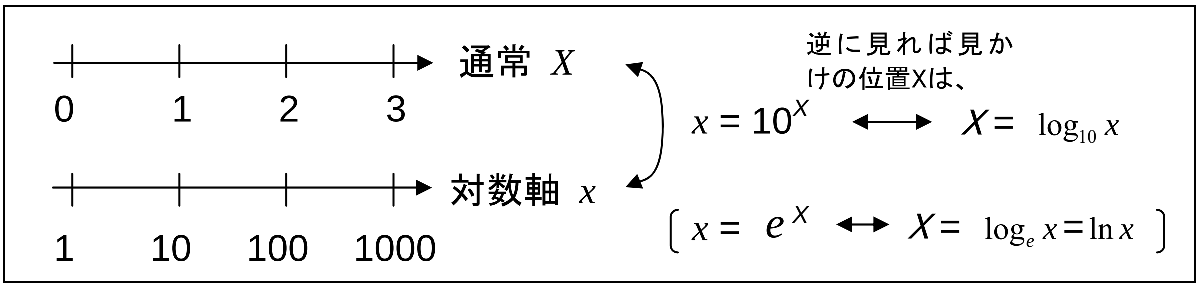
電卓や実験では、$\log_e$ を自然対数であることを明確にするため、特に ln 記号を使って表すので、(logarithm natural)

$$\ln y\ =\ \ln a\ +\ bx$$

と表現できる。$\ln y \rightarrow$ Y に、$\ln a \rightarrow$ A に、$\underline{b}\ \underline{\underline{x}} \rightarrow \underline{B}\ \underline{\underline{\ln x}}$ と見れば、この形も下記の一次関数として見ることができる。

$$\boxed{\mathrm{Y}\ =\ B\ \mathit{Inx} + \mathrm{A} \qquad \text{（式５）}}$$

通常の x 軸と対数軸との関係



【曲がった曲線を、扱いやすい直線に変換する場合のまとめ】
直線へ直す場合に、（式３）と（式５）の使い分け方をまとめたものを以下に示す。

表１　曲線―直線変換の関係

対応曲線種類	両（片）対数グラフとエクセルの曲線近似オプションの対数近似の回帰式と対応させる場合	紙の両（片）対数グラフのみで検討をする場合
	（式５）が適合する	（式３）が適合する
関係式	$y = a\ e^{bx}$　(指数関数的)	$y\ = ab^{x}$　(べき乗的)
変換式	$Y\ =\ BInx\ +\ A$	$Y\ =\ B\log x\ +\ A$
一次関数的な表現	$Y\ =\ BX + A$	$Y\ =\ BX\ +\ A$

（４）グラフ用紙（方眼紙）には、いくつかの種類がある。

グラフ用紙には、いくつかの種類がある。一般的に知られているのは、縦横が 1mm のマス目になっているグラフであり、それ用紙を**方眼紙**と呼んでいる。しかし、科学技術の分野では、グラフを書いたら、曲がった曲線が描かれてしまうことも多々ある。その時は、対数（log）を使うと、直線の式（一次関数）に表せることを学んだ。

そのため、対数（log）を使える（を描きやすい）方眼紙が存在していて、図４のように、縦横とも対数に対応しているグラフ用紙を**両対数グラフ用紙**（Log-Log）といい、また、図５のように、縦だけが対数の間隔になっていて、横軸は普通の 1mm 間隔になっているグラフ用紙を**片対数グラフ用紙**（Semi-Log）と呼んでいる。

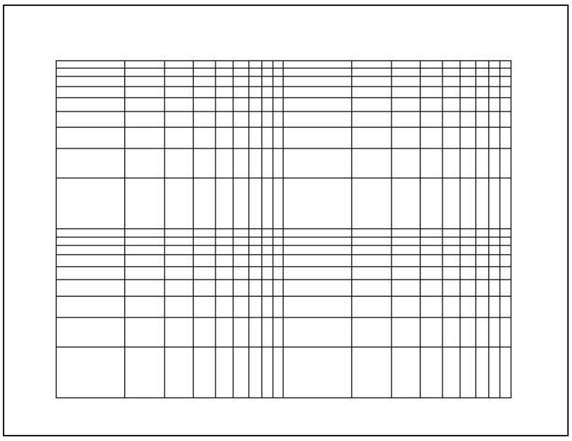


図４　両対数グラフ用紙の例（Log-Log）

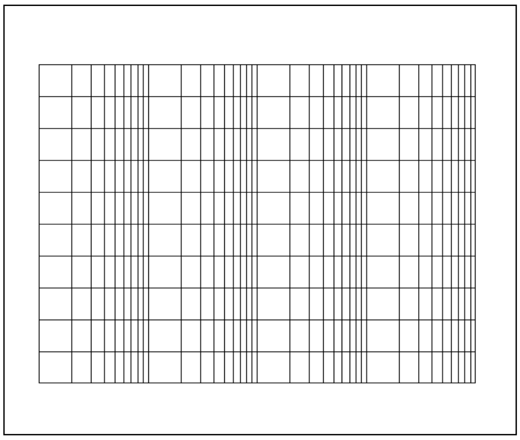


図５　片対数グラフ用紙の例（Semi-Log）

（５）対数グラフの座標軸の仕組みと使い方

対数グラフは、目盛りの間隔が対数（これもただの数）の間隔になっていることは(４)で学んだ。それでは、次に対数という数の具体的な数値を確認してみる。

ただし、ここで　log１や log２と表記した場合、常用対数(底は 10)とする。正確には　$\log_{10}1$ のように書く。(今よくわからない人は、ここではあまり気にしないで下表の上下の関係を理解すればよい)

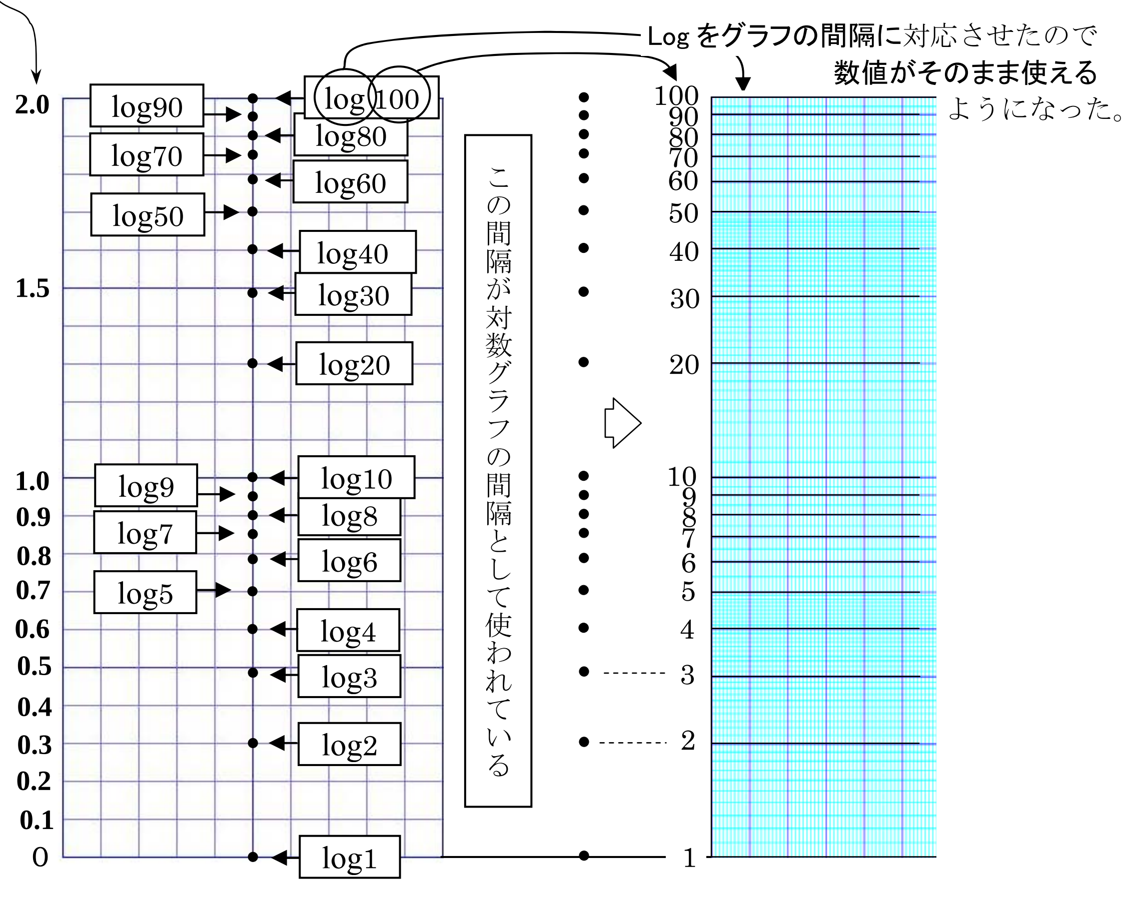
下表の意味は、例えば、log１は１という数値、log２は 0.301 という数値を意味していると見ればよい。つまり、対数もただの数値なのである。

log１	log２	log３	log４	log５	log６	log７	log８	log９
0	0.301	0.477	0.602	0.700	0.778	0.845	0.903	0.954
log10	log 20	log30	log40	log50	log60	log70	log80	log90
1	1.301	1.477	1.602	1.700	1.778	1.845	1.903	1.954
log100	log200	log300	……					
２	2.301	2.477	……					

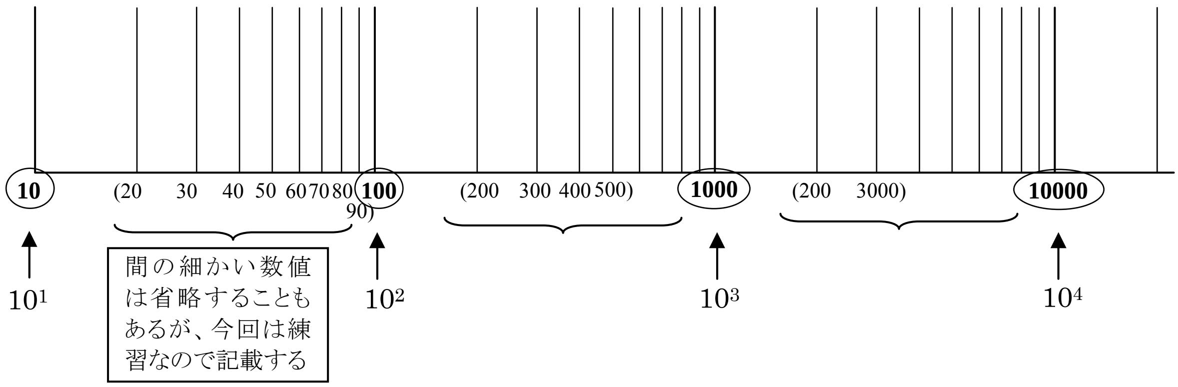
この表を見て、かなり規則的なことがわかる。

- 「log1、log10、log100」は「０，１，２」となっており、log1000 はどうなるか想像してみよ。答えは３であり、**単純な数列**である。
- また、小数点以下も規則的で、全て同様である。等間隔ではないが、**全て同じ間隔で変化**していることがわかる。

これらを以下の方眼用紙に書いて対数グラフの仕組みを見る。(余白は省略)



（６）対数グラフに座標を割り振ってみる（曲線を直線に変換する）



【練習問題３】

以下の太枠で囲われたデータを見ながら**片対数方眼紙**を用いて、全体のバランスを考えながら見やすい座標をとり、下記のデータを●印でプロットしなさい。

プロットできた人は、プロットした点が左右に均等に分かれるような直線を、「簡易的な最小２乗法」で、エイ・ヤーと定規を使って直線を描きなさい。

ただし、グラフ用紙を横置きにして、横軸を抵抗、縦軸を電流とすること。

	抵抗 R[kΩ]	電流 I[μA]			
	2400	16.0			
	1500	24.0			
	1000	32.0			
	820	36.0			
	620	42.0			
	560	44.0			
	470	48.0			
	330	57.0			
	220	66.0			
	120	76.0			
	100	78.0			

（第３週目）

グラフから一次関数（式）を回帰する

1. 関数電卓の演習

回帰式を学ぶ前に、まず、そこで必要となる関数電卓の使い方を予め学習することとする。与えられた課題に沿って、基本的な操作と数学関数の扱い方を取得すること。特に、指数関数や対数関数はこの後すぐに使用するので優先的に学習する。

２．回帰式について

これまでの演習によって、直線で描かれたグラフを書くことができた。この直線は一次関数なので、ｙ＝ax＋b などの簡単な式で表すことができる。

なぜ、そんなことをする必要があるのか。それは先に学んだ独立変数と従属変数というものをこの１行の式で全てを関係付けることになるからである。つまり、グラフ内の事象で起こっている全ての変化について、**ある入力（独立変数）を加えると、ある一つの出力（従属変数）が得られるという**、システムができあがるのである。

実験データの分布から近似する関数(式)を**近似式や実験式**といい、この行為を回帰するなどという。これは非常に効率的な考え方であり、これまで色々データ整理やグラフ化などわずらわしい手続きを踏んできたが、それら全てを捨ててもそこで得られた近似式（実験式）は、**たった一行の式で入力と出力の値、全てを表すことができる**ようになるのである。

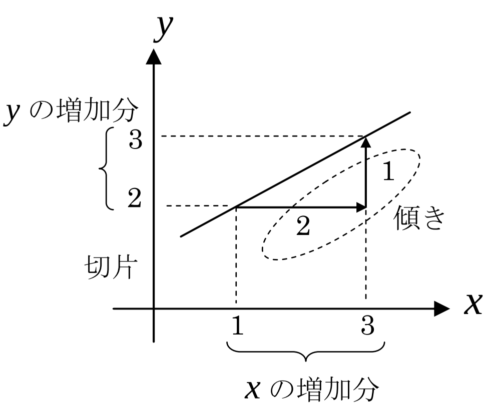
【一次関数を求める（≒回帰する)】

（１）ここで一次関数を復習する。一次関数は、傾き a と切片 b がわかれば、式として表すことができる。例えば下図のような直線があったとき、

一次関数は　$y = ax + b$　で表され

・傾き a は　２行って、１上がる傾きであるので
（右に行くより上がる分が少ない）

$$a = \frac{1}{2} \quad \left(= \frac{3-2}{3-1} = \frac{y\text{の増加分}}{x\text{の増加分}} \right)$$



・切片 b は、例えば直線が（１，２）を通るので
(X座標, Y座標)

$$2 = \frac{1}{2} \times 1 + b$$

$$b = 2 - \frac{1}{2} = \frac{4-1}{2} = \frac{3}{2} = 1.5$$

よって、　$y = \frac{1}{2}x + 1.5$　と求められる。

（2）次に、片側の軸が対数になっている場合はどう考えればよいであろうか。

【考え方】

① 片対数グラフ（とエクセル近似式の検討）→ 自然対数（底 e を使った式）

② Y ＝ $A\ln x + \boldsymbol{B}$ **を利用する**（← $y = ax + b$ の x の部分が $\ln x$ に置き換え）

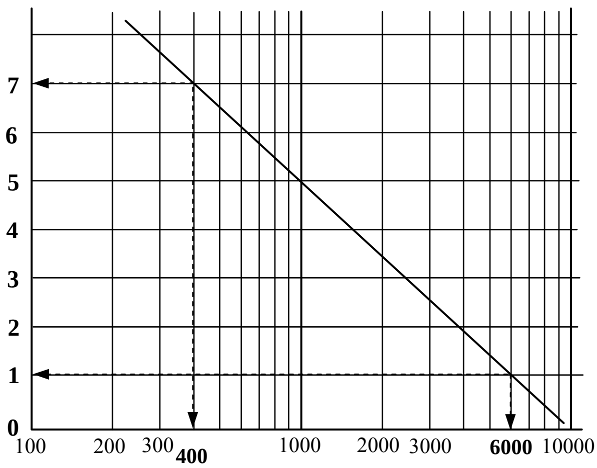
③ この式を用いて、以下、前述した（1）と同じように求める。

・傾き *A* を求める。

$$A = \frac{7-1}{\ln 400 - \ln 6000} = \left(\frac{y\text{の増加分}}{x\text{の増加分}} \right)$$

$$= \frac{6}{5.99-8.70} = \frac{6}{-2.71} = -2.21$$

傾きは、−2.21　とわかった



・次に、切片 *B* を求める。

傾き ***A*** を式②に代入

Y ＝ $-2.21 \times \ln x$ ＋ $\boldsymbol{B}$

（400,7）を代入　　　（←（6000、1）などでもよい）

7 ＝ −2.21 × $\ln 400$ ＋ $\boldsymbol{B}$

∴ $\boldsymbol{B}$ ＝ 7+(2.21×5.99) ＝ 20.2

求まった切片 ***B*** を式②に代入する

Y ＝ $-2.21\ln x + 20.2$

これが片対数グラフに描かれた直線の式であり、**グラフから一次関数を近似する⇔一次関数を求める**、簡易的なプロセスとなっている。

【練習問題４】

練習問題３（p20)で作図したグラフから、上述の考え方で近似直線を求めなさい。

基礎知識２

指数法則

m、n が整数、a>0、b>0 のとき

$a^0 = 1$

$a^{-n} = \dfrac{1}{a^n}$

$a^m \times a^n \Leftrightarrow a^{m+n}$

$(a^m)^n \Leftrightarrow a^{mn}$

$(ab)^n \Leftrightarrow a^n b^n$

対数の性質

$\log_a 1 = 0$ ，　$\log_a a = 1$

$\log_a MN = \log_a M + \log_a N$

$\log_a \dfrac{M}{N} = \log_a M - \log_a N$

$\log_a M = \dfrac{\log_b M}{\log_b a}$　（底の変換公式）

学籍番号：　　　　　　　　　　　　　　学生氏名：

注意：解答を導き出す過程（考え方や計算方法）を明確にすること

【演習 5】工学へのステップ　科学的表記法②

【1】次の式を計算せよ。答えの数値の桁数が多くなる場合は、有効数字 3 桁までを科学的表記法で示しなさい。

1. $1.73\times10^{3} + 3.08\times10^{4}$
2. $1.58\,(1.00 - 0.212\times4.5)$
3. $0.321\times\{1.0 + 0.01\,(10 - 28.5)\}$
4. $0.034\times10^{3} - 2.55\times10^{2}$
5. 20.0×0.0099
6. 0.115^{2}

＜解答欄＞

1
2
3
4
5
6

【2】次を計算し、有効数字 3 桁の科学的表記法で示せ。

1. $(5.102\times10^{4})\times(4.03\times10^{-2})$
2. $(3.29\times10^{3})^{2}$
3. $(9.9102\times10^{7})\div(0.0181\times10^{3})$
4. 8^{3}
5. 13.5^{0}

＜解答欄＞

1
2
3
4
5

【演習 6】　指数を含む計算

次の計算をしなさい。

1. $10^{a}\times10^{b}$
2. $10^{c}\times10^{d}\times10^{e}$
3. $10^{x}\div10^{y}$
4. $(10^{a})^{b}$
5. $10^{a} + 2.5\times10^{a}$
6. $a^{x}\times a^{y}$
7. $x^{a}\times x^{b}$
8. $b^{p}\times b^{q}\times b^{r}$
9. $a^{x} - 3\times a^{x}$
10. $10^{a}\times10^{-b}$
11. $10^{a}\div10^{-b}$
12. $10^{c}\times10^{-d}\div10^{e}$
13. $10^{x}\times10^{y}\div10^{-z}$
14. $(a^{x}\times a^{y})^{n}$
15. $(a\times10^{n})\div(b\times10^{m})$
16. $(a\times10^{n})\times(b\times10^{-m})$
17. $(b\times10^{n})\div(d\times10^{-m})$
18. $10^{0.5}\times10^{-1.5}$
19. $x^{0}\times x^{0}$
20. $\{(b^{4})^{0.5}\}^{3}\div b^{2}$

（第４週目）

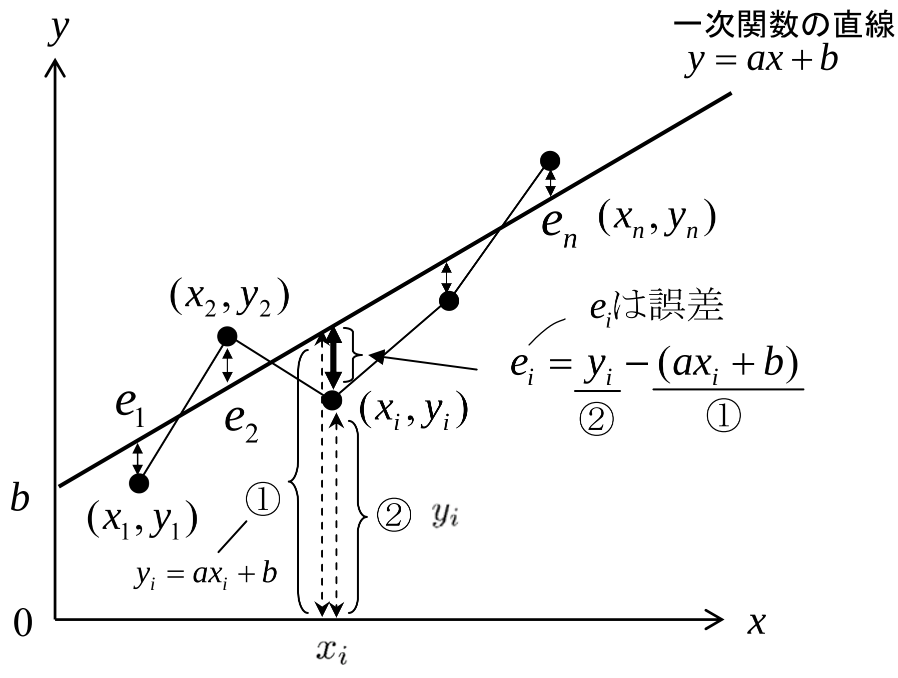
計測データから統計的手法によって一次関数の近似式を求める

【 最小二乗法とは 】

これは想定する関数（ここでは $y = ax + b$ ）が測定値（グラフのそれぞれの点）に対して、よい近似となるように**下記の式 6、式 7 によって、残差の二乗和を最小とするような係数（*a* や *b*）を決定する方法**である。一般的には、実験の測定データから統計的に一次関数の**近似式を求める際に使用される方法**であり、係数となる ***a*** と ***b*** は次式で求められる。

$$a = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2} \quad （式６）, \quad b = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 \sum_{i=1}^{n} y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} x_i y_i}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2} \quad （式７）$$

【 最小二乗法のイメージ 】



近似直線は、このように残差を 2 乗し和を算出、$e_1^2 + e_2^2 + e_i^2 \cdots\cdots + e_n^2 = e_s$ この 2 次式となる e_s が（ここでは割愛するが微分することによって）最小になるように ***a*** と ***b***（直線）を求める方法である。つまり、この方法で**一次式**（$y = ax + b$）**の *a* と *b* を求めることが“最小二乗法で（直線を）回帰する”**こととなり、その**傾き *a* と切片 *b* は、式６、７で示した統計的な手法を用いることにより求められる。**なお、ここでの“ ***n*** ”はデータ数（データの**個数**）であるので注意すること。

【基礎知識】 Σ（シグマ）記号の意味と扱い方について

Σ ⟵この記号は変数を**全て加算する**という意味であり、
加算した総和ごとを“**一つのまとまり**”として扱う。(Σ) このような感じ。

1) 例えば、nが“５”ならば「1から５番目」まで、“１１”なら「1から１１まで」、“n”なら「1からnまで」、を加算する。

iの最後の数

$$\sum_{i=1}^{5} x_i = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5$$

iの始まり

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \cdots\cdots + x_n$$

2) 変数が2つある場合は、**そのまま計算しながら加算**する。(素直に考える)

$$\sum_{i=1}^{5} x_i y_i = (x_1 \times y_1) + (x_2 \times y_2) + (x_3 \times y_3) + (x_4 \times y_4) + (x_5 \times y_5)$$

3) 変数が2乗の場合も同様である。

$$\sum_{i=1}^{5} x_i^2 = (x_1 \times x_1) + (x_2 \times x_2) + (x_3 \times x_3) + (x_4 \times x_4) + (x_5 \times x_5)$$

4) $n\sum_{i=1}^{n} x_i^2$ この部分の計算の考え方は、

$\sum_{i=1}^{5} x_i^2$ **これで一つのまとまり**だから、例えば、このΣが55で、n が10だとすれば、

この部分 n=10（例）

$$\underline{n\sum_{i=1}^{5} x_i^2} = n \times \left(\sum_{i=1}^{5} x_i^2 \right) = 10 \times 55 = 550$$ と算出する。

このΣは55（例）

つまり、**シグマの部分を最初に求めておいて、n倍すればよい。**

注意：ここで n はデータの数の**総和でなく、**あくまで**データ数（データの個数）**であるので注意すること。

【練習問題５】

演習３で用いたデータを使って、最小二乗法により回帰した直線の傾き a と切片 b を求め、その求めた a、b で一次関数の近似式を示しなさい。

（手順）

これを求める際に下表の空欄を埋めることで、必要なΣ部分の計算ができるので、この下表を活用し、前述した計算式にあてはめて、算出するとよい。

ただし、最終結果は有効数字 3 桁でまるめなさい。7 頁を参照のこと）

データ数n	抵抗 R［kΩ］	電流 I［μA］ (y_i)	$\ln R$ (x_i)	$(\ln R)^2$ (x_i^2)	$\ln R \times I$ ($x_i y_i$)
1	2400	16.0			
2	1500	24.0			
3	1000	32.0			
4	820	36.0			
5	620	42.0			
6	560	44.0			
7	470	48.0			
8	330	57.0			
9	220	66.0			
１０	120	76.0			
１１	100	78.0			
n＝ (注意：総和でない)		$\sum_{i=1}^{n} y_i$ ＝	$\sum_{i=1}^{n} x_i$ ＝	$\sum_{i=1}^{n} x_i^2$ ＝	$\sum_{i=1}^{n} x_i y_i$ ＝

【練習問題６】

最小二乗法で得られた一次関数式と、練習問題４（22 頁）のグラフから求めた一次関数式とを比較しなさい。

一般計算

- [MODE][0]を押すと一般モードが選択できます。一般モードでは、関数を使った計算、積分 / 微分計算、ソルバー機能やシミュレーション計算などを行うことができます。
- 計算を行う前に[ON/C]を押して表示をクリアしてください。

加減乗除算 / 定数計算

- [=]や[M+]の直前にくる[)]の操作は省略することができます。
- 定数計算の加算では、加数が定数になります。減算や除算も同様に減数や除数が定数になります。乗算では、被乗数が定数になります。
- 定数計算を行ったあと、定数は K として表示されます。
- 定数計算は一般モード、統計モードで行うことができます。

45 + 285 ÷ 3 =	[ON/C] 45 [+] 285 [÷] 3 [=]	140.
(18 + 6) ÷ (15 − 8) =	[(] 18 [+] 6 [)] [÷] [(] 15 [−] 8 [=]	$3\frac{3}{7}$
42 × −5 + 120 =	42 [×] [(−)] 5 [+] 120 [=]	-90.
$(5 \times 10^{3}) \div (4 \times 10^{-3}) =$	5 [Exp] 3 [÷] 4 [Exp] [(−)] 3 [=]	1'250'000.
34 + 57 =	34 [+] 57 [=]	91.
45 + 57 =	45 [=]	102.
68 × 25 =	68 [×] 25 [=]	1'700.
68 × 40 =	40 [=]	2'720.

21

関数計算

- 各計算例を参照してください。
- 1行入力表示エディターでは、次の記号が使われます。
  - ▲ : べき乗を示します。([y^x]、[2ndF][e^x]、[2ndF][10^x])
  - ◤ : 整数部、分子、分母の区切りを示します。([a/b]、[2ndF][ab/c])

また、1行入力表示エディターにて [2ndF][$\log_a x$] や [2ndF][abs] を入力するときは、次の書式 (引数) を使用してください。

- logn(底 , 値)
- abs 値

sin 60 [°] =	[2ndF][SET UP][0][0] [ON/C][sin] 60 [=]	$\frac{\sqrt{3}}{2}$
	[CHANGE]	0.866025403
$\cos\frac{\pi}{4}$ [rad] =	[2ndF][SET UP][0][1] [cos][π][a/b] 4 [=]	$\frac{\sqrt{2}}{2}$
	[CHANGE]	0.707106781
$\tan^{-1}1$ [g] =	[2ndF][SET UP][0][2] [2ndF][$\tan^{-1}$] 1 [=]	50.
	[2ndF][SET UP][0][0]	
$(\cosh 1.5 + \sinh 1.5)^2$ =	[ON/C][(][hyp][cos] 1.5 [+][hyp][sin] 1.5 [)][x^2][=]	20.08553692
$\tanh^{-1}\frac{5}{7}$ =	[2ndF][arc hyp][tan][(] 5 [÷] 7 [)][=]	0.895879734
ln 20 =	[ln] 20 [=]	2.995732274

22

log 50 =	[log] 50 [=]	1.698970004
$\log_2 16384$ =	[2ndF][$\log_a x$] 2 [▶] 16384 [=]	14.
LINE	[2ndF][$\log_a x$] 2 [(x,y)] 16384 [)] [=]	14.
e^3 =	[2ndF][e^x] 3 [=]	20.08553692
1 ÷ e =	1 [÷][ALPHA][e] [=]	0.367879441
$10^{1.7}$ =	[2ndF][10^x] 1.7 [=]	50.11872336
$\frac{1}{6}+\frac{1}{7}$ =	6 [2ndF][x^{-1}][+] 7 [2ndF][x^{-1}][=]	$\frac{13}{42}$
	[CHANGE]	0.309523809
$8^{-2} - 3^4 \times 5^2$ =	8 [y^x][(−)] 2 [▶] [−] 3 [y^x] 4 [▶] [×] 5 [x^2][=]	$-2024\frac{63}{64}$
	[CHANGE]	$-\frac{129599}{64}$
	[CHANGE]	-2'024.984375
LINE	8 [y^x][(−)] 2 [−] 3 [y^x] 4 [×] 5 [x^2][=]	-2'024.984375
	[CHANGE]	-2024⌐63⌐64
	[CHANGE]	-129599⌐64
8^3 =	8 [2ndF][x^3][=]	512.
$\sqrt{49} - \sqrt[4]{81}$ =	[√] 49 [▶][−] 4 [2ndF][$\sqrt[x]{\ }$] 81 [=]	4.
LINE	[√] 49 [−] 4 [2ndF][$\sqrt[x]{\ }$] 81 [=]	4.
$\sqrt[3]{27}$ =	[2ndF][$\sqrt[3]{\ }$] 27 [=]	3.
4! =	4 [2ndF][n!][=]	24.
$_{10}P_3$ =	10 [2ndF][nPr] 3 [=]	720.
$_5C_2$ =	5 [2ndF][nCr] 2 [=]	10.

23

分数計算

この電卓は、分数を使用した加減乗除算、関数計算、およびメモリー計算を行うことができます。(複素数モードを除く。)
また、一般モードにて、[CHANGE] を押して、分数と小数間の変換を行うことができます。

- 仮分数 / 真分数では、表示桁数が9桁を超えるときは小数に変換されて表示されます。帯分数では、整数部含めて表示桁数が8桁を超えるときは小数に変換されて表示されます。
- 度分秒表示を分数に変換するときは、[CHANGE] の前に [2ndF][↔DEG] と押してください。

$3\frac{1}{2}+\frac{4}{3}$ =	[ON/C] 3 [2ndF][ab/c] 1 [▼] 2 [▶][+][a/b] 4 [▼] 3 [=]	$4\frac{5}{6}$
	[CHANGE]	$\frac{29}{6}$
	[CHANGE]	4.833333333

32

角度単位換算

[2ndF][DRG▶] を押すたびに、角度単位が変わり、表示されている数値を指定された角度単位に換算します。

90° → [rad]	[ON/C] 90 [2ndF][DRG▶]	$\frac{1}{2}\pi$
→ [g]	[2ndF][DRG▶]	100.
→ [°]	[2ndF][DRG▶]	90.

30

P9【演習 1】解答

【1】

1.　4　桁	2.　6　桁	3.　4　桁
4.　4　桁	5.　4　桁	6.　5　桁
7.　4　桁	8.　5　桁	9.　2　桁

【2】

1.　6　桁	2.　5　桁	3.　2　桁
4.　4　桁	5.　4　桁	6.　3　桁
7.　8　桁	8.　7　桁	9.　5　桁
10.　1　桁		

P10【演習 2】解答

1	51.3	8	91200　（注１）
2	2.345	9	124000　（注１）
3	0.0023	10	7.8×10^{-5}
4	7.10×10^{6}	11	7.78×10^{-5}
5	0.0235	12	3.00×10^{8}
6	3.3×10^{-4}	13	2.998×10^{8}
7	91246		

（注1） 有効数字の下桁の「0」は意味を持つので、数値だけでは2つの00や000に意味があるのかないのかが判断できないが、今回は桁数の指示とのセットで（概数的に,の指示もあり）、00や000に意味がないことを判断することになる。実測値を扱うことの多い科学の世界で、どこまで数値を扱うかが注目されるときは、一般的な、科学的表記法で9.12×10^{4}や91.2K などの表現の方が（桁数の指示がなくても表記されている数値が有効な数値（や桁数）とわかるため）わかりやすい表記となることが、このことから理解できる。

P11【演習 3】解答

【1】

1	4.1×10^{4}	6	5.4×10^{3}
2	4.10×10^{4}	7	1.230×10^{-1}
3	1.93×10^{2}	8	1.2305×10^{-1}
4	1.9×10^{2}	9	9.90×10^{-4}
5	5.384×10^{3}	10	9.9×10^{-4}

【2】

1	4.10×10^{4}	3	5.4×10^{-2}
2	7.10×10^{6}	4	1.230×10^{-4}

P12【演習 4】解答

【１】

1	1.23×10^{2}	6	1.234×10^{-1}
2	1.234×10^{3}	7	1.234×10^{-2}
3	1.2345×10^{4}	8	1.2345×10^{-3}
4	1.23456×10^{5}	9	-1.23×10^{2}
5	9.87654×10^{5}	10	-1.23×10^{-1}

【2】

1	10^{8}	4	10^{5}
2	10	5	10^{3}
3	10^{2}		

P23【演習 5】解答

【1】

1. $1.73\times10^3 + 3.08\times10^4 = 0.173\times10^4 + 3.08\times10^4 = (0.173+3.08)\times10^4 = 3.253\times10^4 = \underline{\underline{3.25\times10^4}}$
2. $1.58\,(1.00 - 0.212\times4.5) = \underline{1.58\times(1.00 - 0.954) = 1.58\times0.046 = 0.07268} = \underline{\underline{7.27\times10^{-2}}}$

   最大が有効数字３桁の数なので、ここまでは有効数字４桁以内で計算　　ここで有効数字３桁にする

3. $0.321\{\,1.0+0.01\,(\,10-28.5)\} = \underline{0.321\times(1.0+0.01(-18.5) = 0.321\times(1.0+(-0.185)}$

   $\underline{=0.321\times0.815=0.261615} = \underline{\underline{2.62\times10^{-1}}}$

4. $0.034\times10^3 - 2.55\times10^2 = 0.034\times10^3 - 0.255\times10^3 = (0.034-0.255)\times10^3 = -0.221\times10^3 = -2.21\times10^2$
5. $20.0\times0.0099 = 20.0\times0.0099 = 0.198 = 1.98\times10^{-1}$

   （これがもし測定値なら $20.0\times0.0099 = 20.0\times0.0099 = 0.198 = \underline{0.20} = 2.0\times10^{-1}$ というように有効数字３桁と２桁の乗算より有効数字２桁となるが、今回は測定値の計算扱いとはしない）

6. $0.115^2 = 0.115\times0.115 = 0.013225 = 0.0132 = 1.32\times10^{-2}$（有効数字３桁同士の乗算は有効数字3桁まで扱う）

   （これは測定値だとしても同じ計算になる）

P23【2】解答

1. $(5.102\times10^4)\times(4.03\times10^{-2})$

   $=(5.102\times4.03)\times10^{(4-2)} = (5.102\times4.03)\times10^2 = 20.56106\times10^2 = 20.6\times10^2 = 2.06\times10^3$

2. $(3.29\times10^3)^2 = 3.29^2\times10^{(3\times2)} = 10.8241\times10^6 = 10.8\times10^6 = 1.08\times10^7$
3. $(9.9102\times10^7)\div(0.0181\times10^3) = 9.9102\div0.0181\times10^{(7-3)} = 548\times10^4 = 5.48\times10^6$
4. $8^3 = 8\times8\times8 = 512 = 5.12\times10^2$
5. $13.5^0 = 1 = 1.00$　（題意より）

P23【演習 6】【1】解答

1. $10^a \times 10^b = 10^{a+b}$
2. $10^c \times 10^d \times 10^e = 10^{c+d+e}$
3. $10^x \div 10^y = 10^{x-y}$
4. $(10^a)^b = 10^{ab}$
5. $10^a + 2.5\times10^a = (1+2.5)10^a = 3.5\times10^a$
6. $a^x \times a^y = a^{x+y}$
7. $x^a \times x^b = x^{a+b}$
8. $b^p \times b^q \times b^r = b^{p+q+r}$
9. $a^x - 3\times a^x = (1-3)\,a^x = -2a^x$
10. $10^a \times 10^{-b} = 10^{a-b}$
11. $10^a \div 10^{-b} = 10^{a+b}$
12. $10^c \times 10^{-d} \div 10^e = 10^{c-d-e}$
13. $10^x \times 10^y \div 10^{-z} = 10^{x+y+z}$
14. $(a^x \times a^y)^n = 10^{n(x+y)}$
15. $(a\times10^n)\div(b\times10^m) = \dfrac{a}{b}\times10^{n-m}$
16. $(a\times10^n)\times(b\times10^{-m}) = (a\times b)\times10^{n-m}$
17. $(b\times10^n)\div(d\times10^{-m}) = \dfrac{b}{d}\times10^{n+m}$
18. $10^{0.5}\times10^{-1.5} = 10^{(0.5-1.5)} = 10^{-1}$
19. $x^0 \times x^0 = 1+1 = 2$
20. $\{(b^4)^{0.5}\}^3 \div b^2 = b^{(4\times0.5\times3)} \div b^2 = b^6 \div b^2 = b^{6-2} = b^4$

ウソ発見器の製作と評価

・電子工作①　ハンダ付けの練習

・電子工作②　ウソ発見器の製作

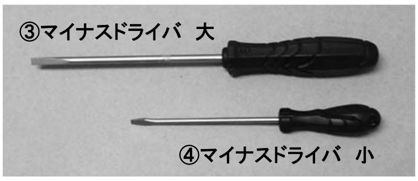
・動作確認と評価実験

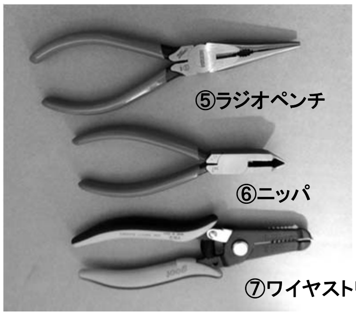
工学ワークショップ
（電気電子工作）

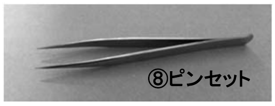
電子工作で用いる工具

ウソ発見器　工具ケースと工具の確認

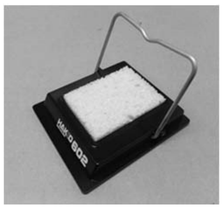
・自分の学生番号と同じ番号の工具ケースを使うこと





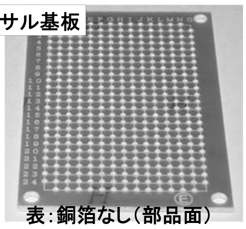


⑮ハンダゴテ台

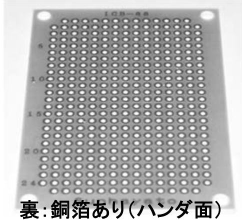


ハンダ付けの練習

⑫ユニバーサル基板



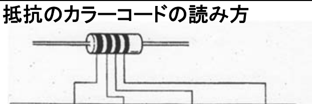
表：銅箔なし（部品面）



裏：銅箔あり（ハンダ面）

⑬ハンダ付け練習用抵抗：15本

抵抗のカラーコードの読み方



色	第1数字	第2数字	第3数字（乗数）	許容差（%）
黒	0	0	$10^0=1$	
茶	1	1	$10^1=10$	±1
赤	2	2	$10^2=100$	±2
橙	3	3	$10^3=1000$	
黄	4	4	$10^4=10000$	
緑	5	5	$10^5=100000$	
青	6	6	$10^6=1000000$	
紫	7	7	$10^7=10000000$	
灰	8	8	$10^8=100000000$	
白	9	9	$10^9=1000000000$	
金	—	—	$10^{-1}=0.1$	±5
銀	—	—	$10^{-2}=0.01$	±10
無着色	—	—	――	±20

数値	色	覚え方
0	黒	黒い礼〔0〕服
1	茶	茶わん〔1〕
2	赤	赤いに〔2〕んじん
3	橙	だいだいみ〔3〕かん
4	黄	きし〔4〕めん
5	緑	みどりご〔5〕
6	青	青ム〔6〕シ
7	紫	紫式〔7〕部
8	灰	ハイヤ〔8〕ー
9	白	白ク〔9〕マ

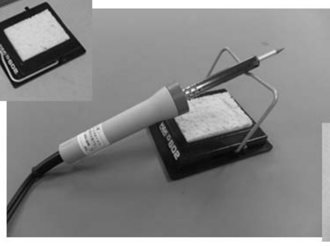
茶	黒	赤	金
1	0	10^2	±5%

$10 \times 10^2 = 1000\Omega$ ±5%

＝1KΩ ±5%

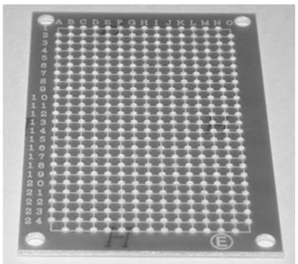
ハンダ付けの方法と注意

① コテは高温になるので　必ず専用のコテ台を利用する

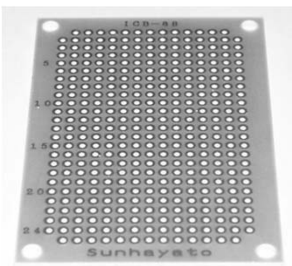


コテの先は、こて台の湿らせたスポンジにこすりつけ、きれいにする

ユニバーサル基板

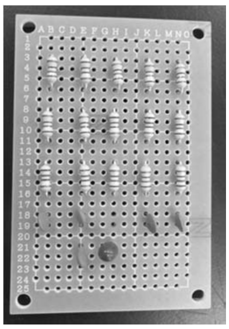


表：銅箔なし（部品面）
部品を付ける面



裏：銅箔あり（ハンダ面）
ハンダ付け面

抵抗・コンデンサのハンダ付け前

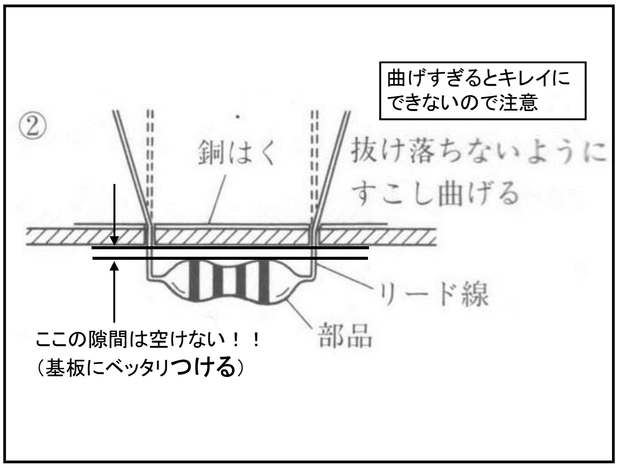


【ハンダ付けの鉄則】
電子部品は
“背丈の低いモノ”から
ハンダ付けする

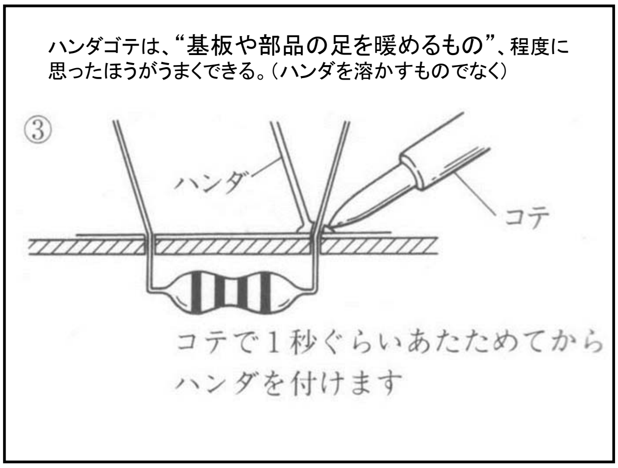
【練習する個数の目安】
・抵抗は
5個×3列　程度

・コンデンサは
色々な形のものを
5個～10個　程度

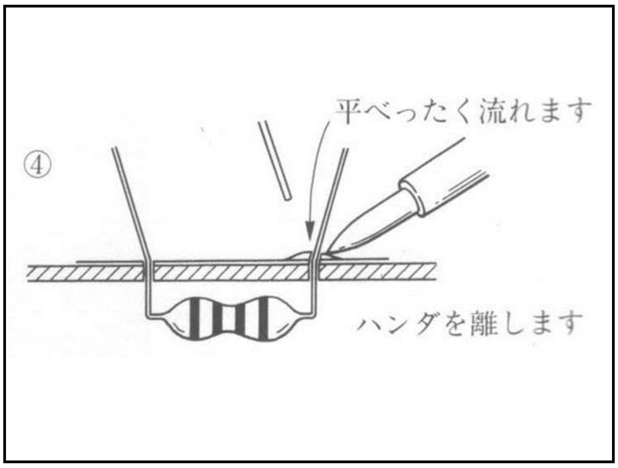
抵抗・コンデンサのハンダ付け練習作品イメージ



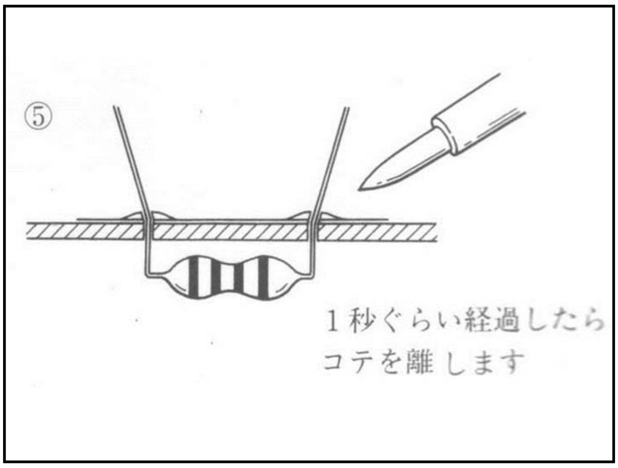
曲げすぎるとキレイに
できないので注意
②
銅はく
抜け落ちないように
すこし曲げる
リード線
部品
ここの隙間は空けない！！
（基板にベッタリつける）



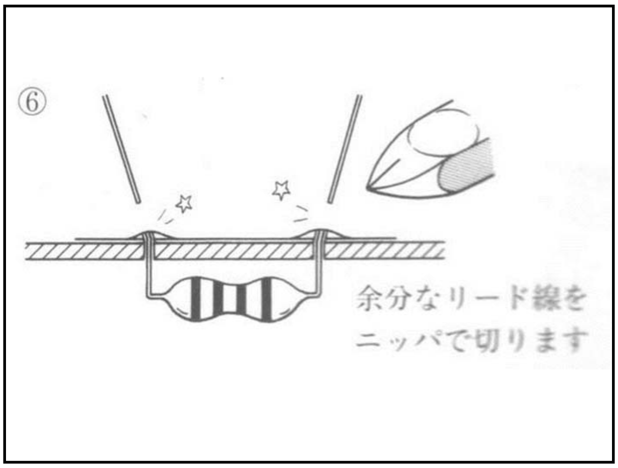
ハンダゴテは、"基板や部品の足を暖めるもの"、程度に
思ったほうがうまくできる。（ハンダを溶かすものでなく）
③
ハンダ
コテ
コテで１秒ぐらいあたためてから
ハンダを付けます



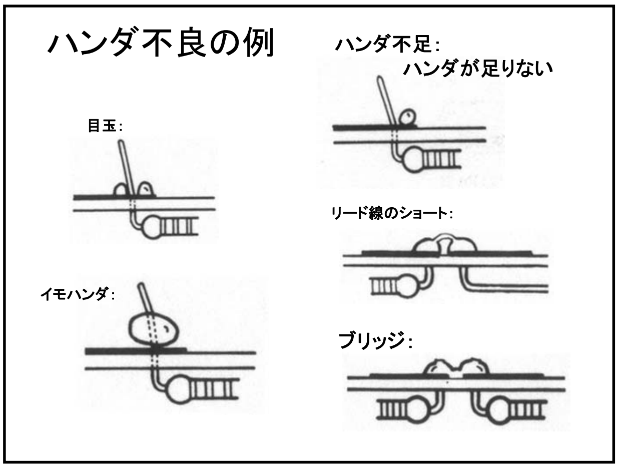
④
平べったく流れます
ハンダを離します



⑤
１秒ぐらい経過したら
コテを離します

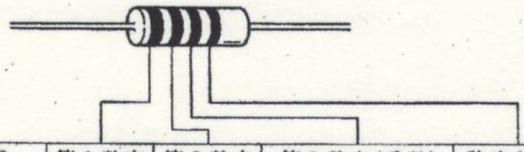


⑥
余分なリード線を
ニッパで切ります



ハンダ不良の例
ハンダ不足：
ハンダが足りない
目玉：
リード線のショート：
イモハンダ：
ブリッジ：

抵抗のカラーコードの読み方

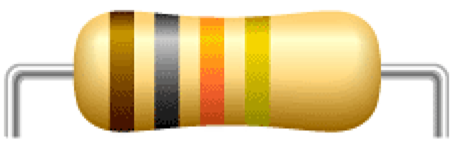


色	第１数字	第２数字	第３数字(乗数)	許容差(%)
黒	0	0	$10^0=1$	
茶	1	1	$10^1=10$	±1
赤	2	2	$10^2=100$	±2
橙	3	3	$10^3=1000$	
黄	4	4	$10^4=10000$	
緑	5	5	$10^5=100000$	
青	6	6	$10^6=1000000$	
紫	7	7	$10^7=10000000$	
灰	8	8	$10^8=100000000$	
白	9	9	$10^9=1000000000$	
金	—	—	$10^{-1}=0.1$	±5
銀	—	—	$10^{-2}=0.01$	±10
無着色	—	—	—	±20

数値	色	覚え方
0	黒	黒い礼〔0〕服
1	茶	茶わん〔1〕
2	赤	赤いに〔2〕んじん
3	橙	だいだいみ〔3〕かん
4	黄	きし〔4〕めん
5	緑	みどりご〔5〕
6	青	青ム〔6〕シ
7	紫	紫式〔7〕部
8	灰	ハイヤ〔8〕ー
9	白	白ク〔9〕マ

例

茶 黒 赤 金



茶　黒　赤　金

$\underbrace{1\quad 0}$　$\underbrace{10^2}$　5%

１０　×１００＝１０００＝１KΩ（誤差５%）

【練習問題】

（１）緑青茶金
（２）橙黒赤金
（３）茶黒黄金
（４）赤黄緑銀
（５）赤赤緑金

（６）紫緑黄銀
（７）黄紫黄金
（８）茶黒緑金
（９）茶緑緑金
（１０）白紫黄銀

【解答欄】

（1）	（6）
（2）	（7）
（3）	（8）
（4）	（9）
（5）	（10）

１．実習のねらい

この実習で製作では「うそ発見器」と称した簡易的な電流計を製作します。非常に簡素な回路ですが、この実習課題では電子工作を体験するだけで無く、現代社会を支えている最も基本的な電子部品を用いることによって、その動作原理の理解を深めたり、電子回路やその部品に慣れ親しんだり、実験データをサンプリングするなど、そこには多くの学ぶべきポイントが隠れています。

また、テレビ番組の中でもウソ発見器が登場することもありますが、本当にウソがわかるのかどうか、この実習を通して調査していただきたいと思います。ものごとを考える上で、どうして？　と思うことは非常に大切です。この実習課題によって、現代の基礎技術と、それに関連付けられた人間の持つ特長などを考える絶好のチャンスです。

例えば、この装置の仕組みはどうなっているのか、人の感情、意識、思考の変化はどうなのか、無意識のうちに変化するものがあるのか、無いのか。脈拍、汗、眼球の動き、体温の変化などはどうなのかなど。これらの検出ができれば、ウソがわかるのかどうか。さまざまな視点で調べることができます。

日々進歩する日本の技術、その一方で完全に解明されていない生体、自然、物質など、科学的な視点で関心を持つようになっていただくことを期待しています。

２．製作回路

１）　トランジスタの基本動作

この実習で製作する「うそ発見器」の回路図を図１に示します。数個の抵抗とコンデンサ、半導体は、トランジスタ１個使用します。ここで用いるトランジスタの回路は、エミッタ増幅回路という回路を使用します。

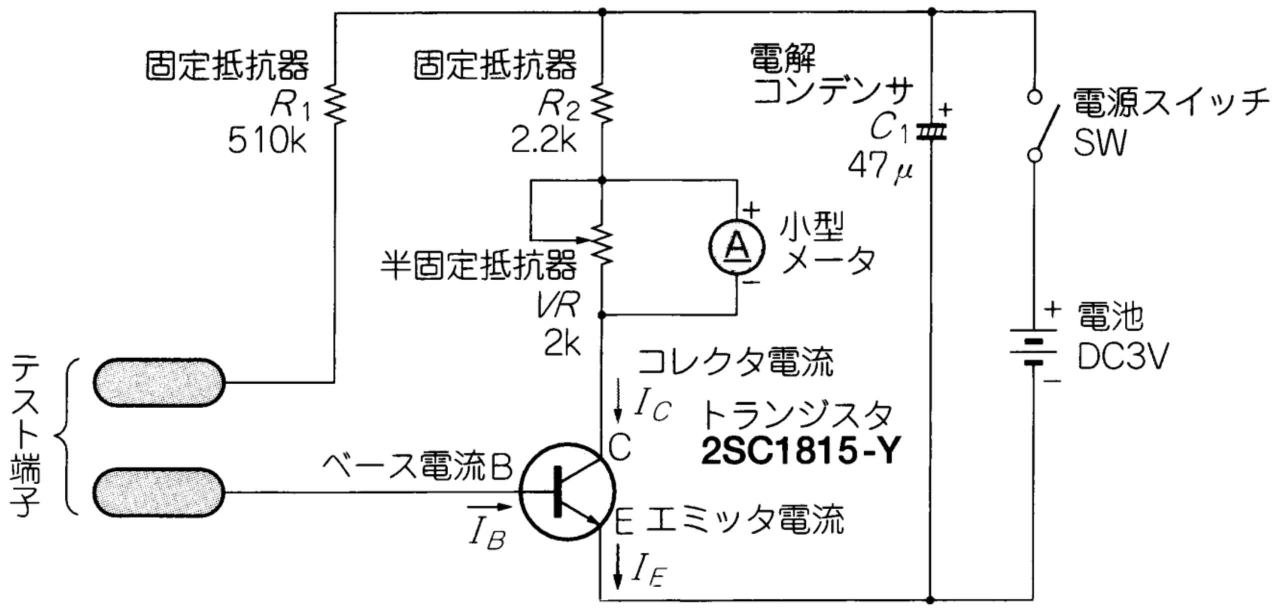


図１　うそ発見器の回路図

トランジスタは、ベースに流す電流に応じてコレクタに流れる電流が変化します。この関係を式で表すと次式のようになります。

$$I_C = I_B \times h_{FE} \quad \cdots\cdots (1)$$

ただし、I_C：コレクタ電流、I_B：ベース電流、h_{FE}：直流電流増幅率を示しています。

h_{FE}はトランジスタによって決まる値で、その値によりランク分けされているものもあります。今回製作に使う 2SC1815-Y というトランジスタは、h_{FE}がおよそ 120～240 です。つまり、120～240 倍に増幅します。また、エミッタ電流I_Eは、次式で表されます。

$$I_E = I_B + I_C \quad \cdots\cdots (2)$$

以上から、トランジスタの基本的な動作を簡単にまとめると、次のようになります。

① ベース電流が変化すると、それに応じてコレクタ電流が変化する。

② ベース電流は、コレクタ電流に比べてわずかである。

③ ベース電流＋コレクタ電流がエミッタ電流となる。

２）抵抗値の変化を、電流の変化に変える

もう一度図１をみてください。このままではベースになにもつながっていないのでコレクタには電流が流れません。

ここで二つのテスト端子の両端をショートすると、R_1によってベースに一定の電流（バイアス電流と呼ぶ）が流れます。するとコレクタにも一定の電流が流れるので、このコレクタにつながっているメータにも電流が流れ、メータが振れます。

ここでR_1を変えると、コレクタに流れる電流はベース電流に応じて変化します。これを利用すれば、抵抗値の変化をメータの振れ方、すなわち電流の変化に変換することができたというわけです。

３）固定バイアス回路

ウソ発見器で使ったのは図２に示す固定バイアスと呼ばれる回路です。トランジスタのバイアス回路には、このほか自己バイアス回路、電流帰還バイアス回路の三つの種類に分類することができます。また、回路によってはこれらを組み合わせた使い方をしている場合もあります。興味を持った人は、トランジスタ回路の入門書などから自ら調べてみてください。

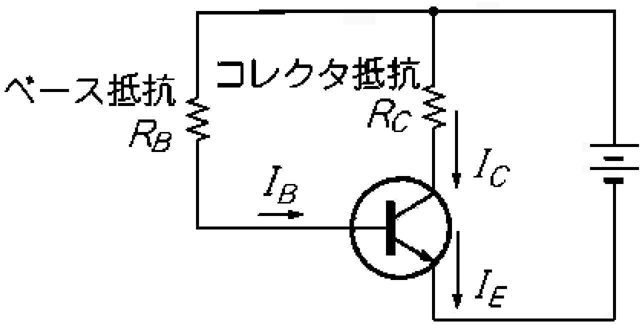


図２　固定バイアス回路

３．ウソ発見器への応用と展開

ウソを発見する要因として容易に考えられるのは、脈拍、汗、眼球の動き、体温などの変化の中で、汗などによる人体の抵抗値の変化です。そのように思いついたら、電流を測定し、次に人体の抵抗は、どのくらいあるのかなどと考えてみることです。調べてみると、人体の約 6,70%は水分で、ミネラルなどの電解質も含まれているなどと、“ウソ発見”というテーマを基に知識や視点が広がります。

このように、本実習で製作したテスト棒の両端を強く握ってみるなど、握り方によっても変わりますし、手を洗った直後の湿った手などでも抵抗値が違っていると思います。また、友達の抵抗を測ったらどうかなど、それぞれ違った抵抗値になるはずです。

その仕組みは、測定対象物となる（この場合人体の）抵抗と R_1 の直列抵抗の値がトランジスタのベースに流す電流を決めることになり、それがメータの針の振り方を決定づけているなど、このテーマを進めるだけでも、いろいろ調べるタネは多岐に渡ります。

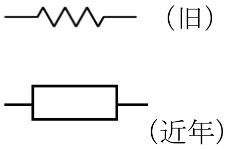
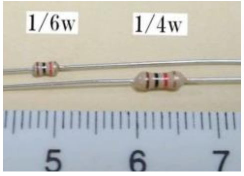
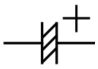
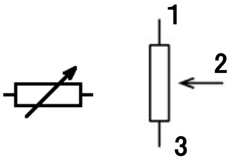
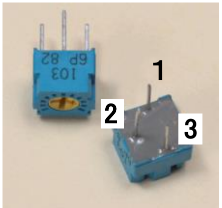
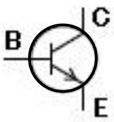
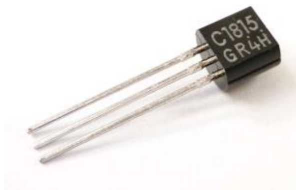
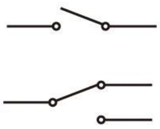
４．部品と回路記号の対応

表１に部品表を示します。また、製作の際に参考になるように、表２では部品名称と回路記号、そして実物の写真を示します。

表１　部品表

No	部品名	型名・仕様・メーカー名等	数量
1	カーボン皮膜抵抗	2.2KΩ　1/4W	1
2		510KΩ　1/4W	1
3	電解コンデンサ	47μF　10V	1
4	半固定抵抗	２KΩ	1
5	トランジスタ	2SC1815	1
6	スライドスイッチ	１回路２接点	1
7	電流計	直流　100uA	1
8	電池スナップ	B 型スナップ	1
9	電池ボックス	単３×２本	1
10	金属スペーサー	40mm　M3 タップ付	2
11	ネジ	M3×6	2
12	ユニバーサル基板	ICB-88（サンハヤト）	1
13	リード線	AWG28　200mm 程度	4

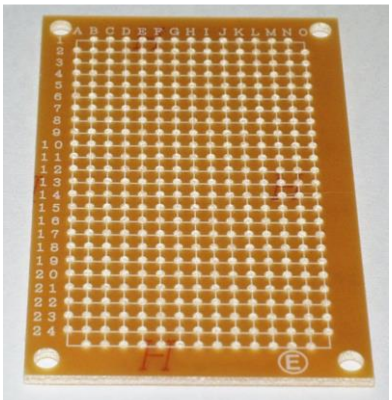
表２　部品名称と図記号、外観等

No	名　称	図記号	外　観	備　考
1，2	抵抗			カーボン皮膜固定抵抗 1/4W
3	電解コンデンサ			リードに極性あり （長：＋、短：—）
4	半固定抵抗			向きに注意 （リードに役割あり）
5	トランジスタ （2SC1815）			極性に注意 （NPN 型）
6	スライド　スイッチ			1 回路 2 接点
7	メータ			・最小目盛単位：2μA ・内部抵抗：1.8kΩ
8	電池スナップ			B スナップ
9	電池ボックス			単 3 型電池×2 本用 B スナップ

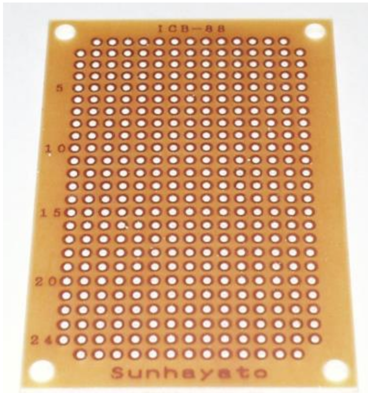
５．電子回路の製作

１）基板について

基板は、電子部品を配置し、電子回路を構成する板です。下記のユニバーサル基板は汎用性が高いため多目的で使用されます（図３）。この基板は、一般的な電子部品のリード(足)の間隔 2.54mm に合わせて一定間隔の穴があいた基板が一般的で、大きさ、形状、穴ピッチなどは目的に合わせて多種類のものが販売されています。



表：銅箔なし（部品面）



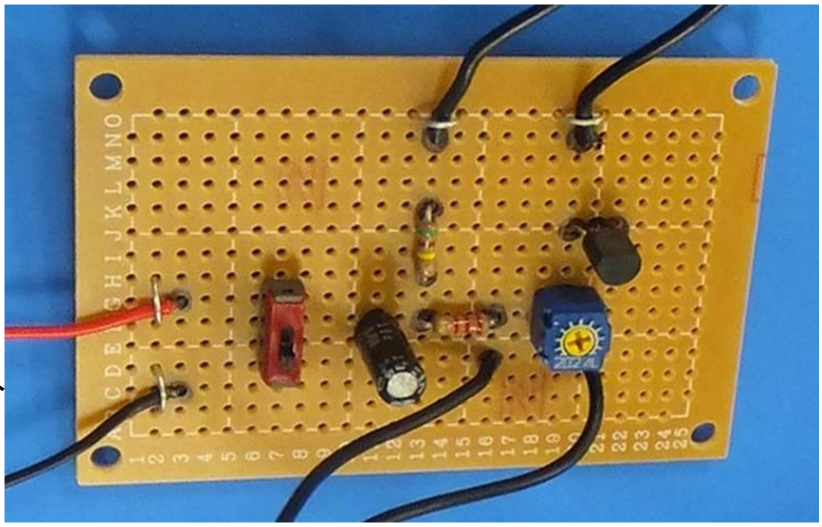
裏：銅箔あり（ハンダ面）

図３　ユニバーサル基板

２）　部品の配置と接続（アートワーク）

電子回路を限られたスペースに収め、その回路を正常に動作させるためには、適当に部品を配置し、部品と部品を電気的につなぎあわせる配線作業が必要になります。これをアートワークといって、製作者の技術力やセンスが大きく影響する工程となります。今回は、はじめて電子工作をする学生も多いので見本に沿って効率的に進め、経験することを優先させたいと考えています。

金属端子（スペーサー）へ



電池ボックスへ

パネルメーターへ

図４　製作するウソ発見器（電流計）の完成回路

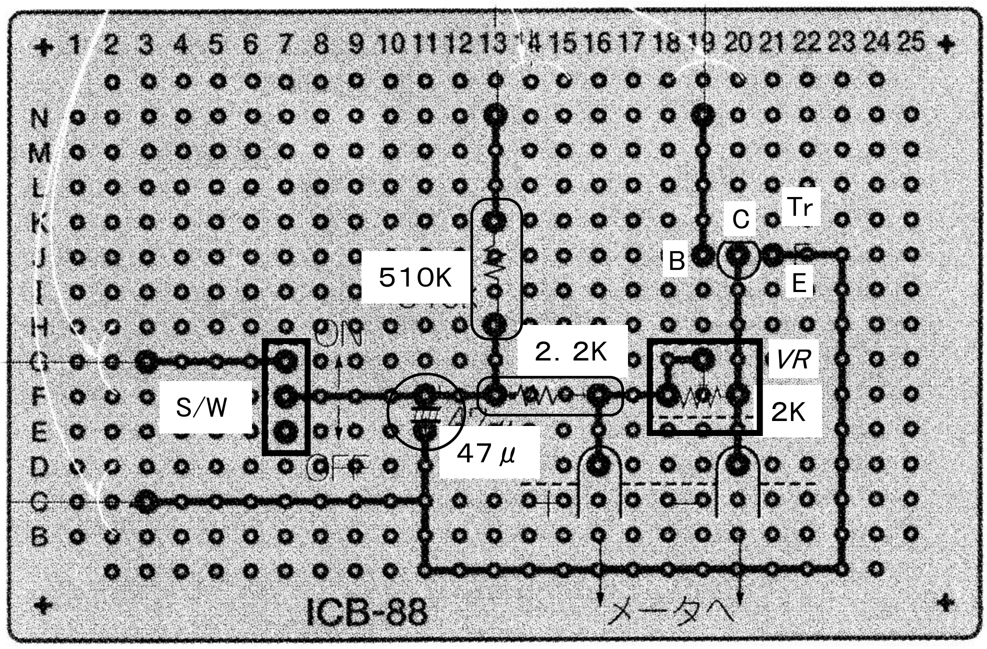


図５　部品実装面から見た部品の配置図と配線図

まず、図１の回路を実現する回路をイメージして、部品の取り付け穴をフェルトペン（マジック）で目印を付けます。これによって取り付け位置を確定させます。間違えないように気を付けて目印をつけますが、仮に位置を間違っても回路の修正はできますので過度な心配はいりません。

みなさんは、図６に沿って部品の足が入る部分に**“マッジクで印を付けて”**ください。

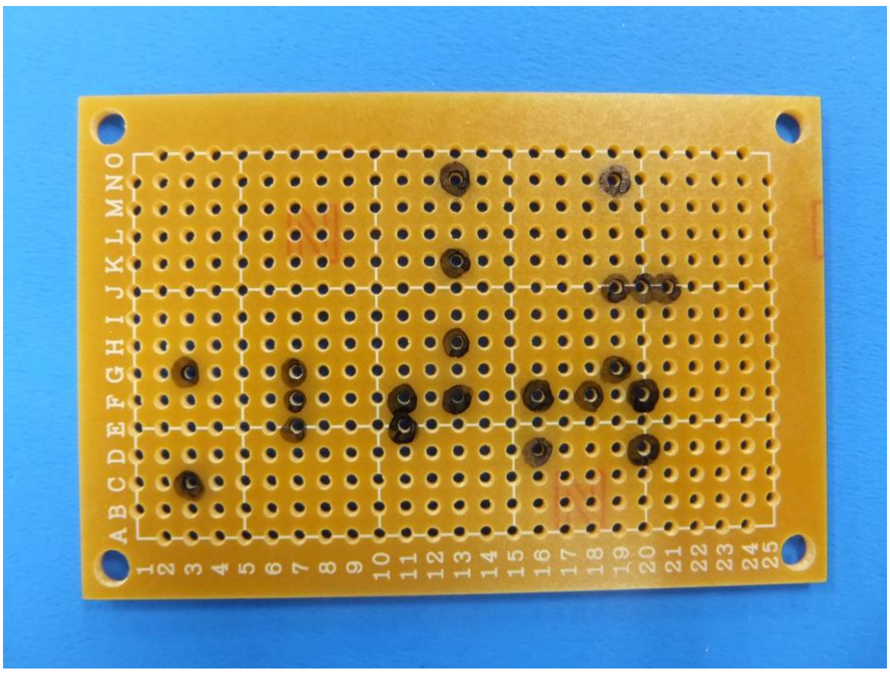


図６　取り付け穴に目印をつけた基板

３）部品をハンダ付け

電子部品を基板の部品面から取り付けます。取り付けの際、高さの低い部品から付けると作りやすくなります。図７に示すように、部品面に電子部品を挿したら、その裏となるハンダ面からハンダ付けをしていきます。ハンダ付けした部品は、足を根元からニッパで切り取ってください。なお、切った足はあとで使いますから、捨てずに取っておいてください。

部品の足はハンダ付けの際、部品が落ちない程度（少し）に外側に曲げてハンダ付けします。**部品の足を完全に曲げないで**ハンダ付けした方がきれいに仕上がります。また、部品の足を間違って取り付けた場合でも、修正や修理はできますので、あまり怖がらずに行ってください。

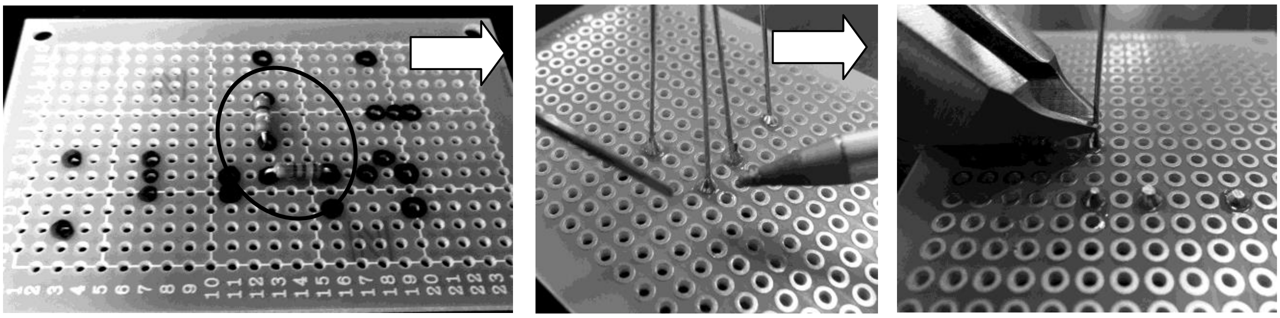


図７　部品面に部品を実装し、部品をハンダ付け後、部品の足を切る

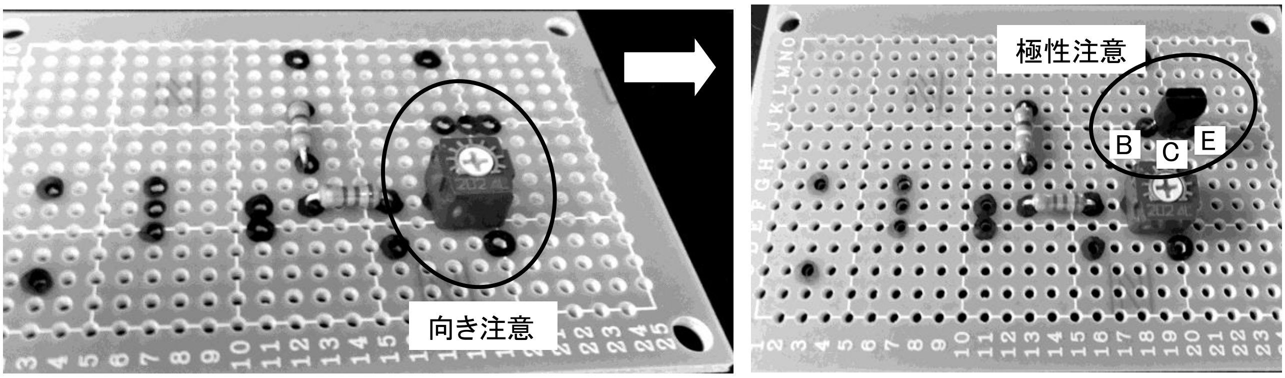


図８　半固定抵抗、トランジスタを実装する様子

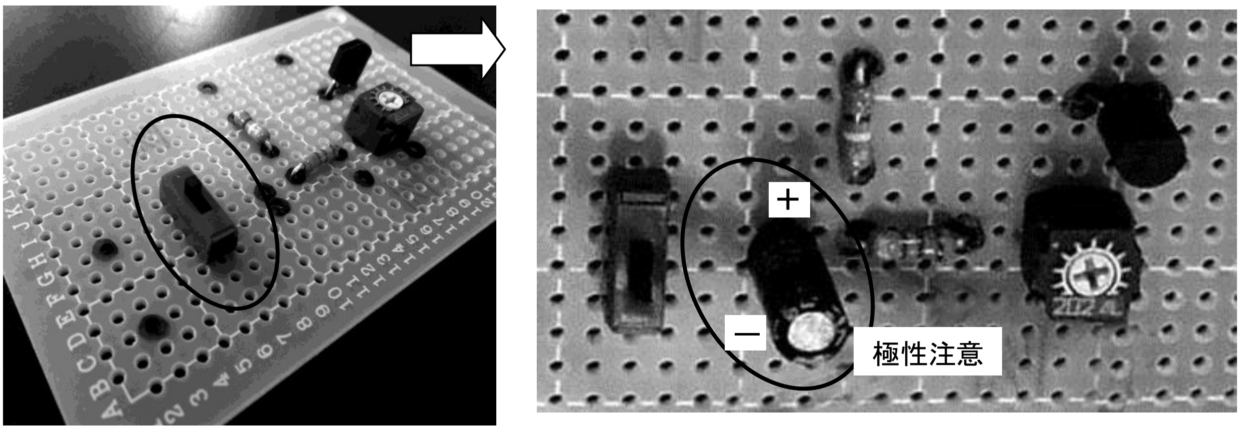


図９　スイッチ、電解トランジスタを実装した様子

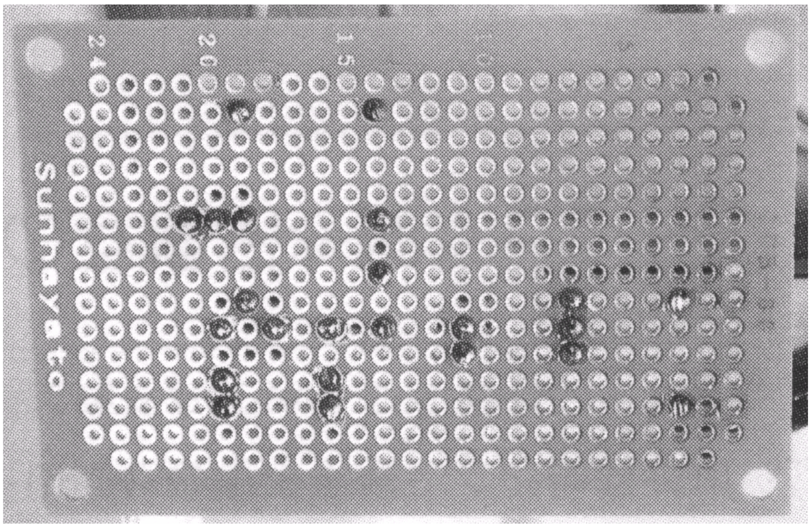


図１０　実装し終わった基板の、ハンダ面の様子

４）電子部品の接続

ユニバーサル基板では、ハンダ付けした電子部品の足の部分を、回路図と電気的に同じになるようにつなぎ合わせます。ここでは、先ほど切り取った電子部品の足と、錫メッキ線を利用して接続していきます。実習での部品間の接続は、一般的にはハンダ付けした面（ハンダ面）で行いますが、スペースを有効に使うなどの理由で、場合によっては部品を取り付けた面（部品面）から接続する場合もあります。

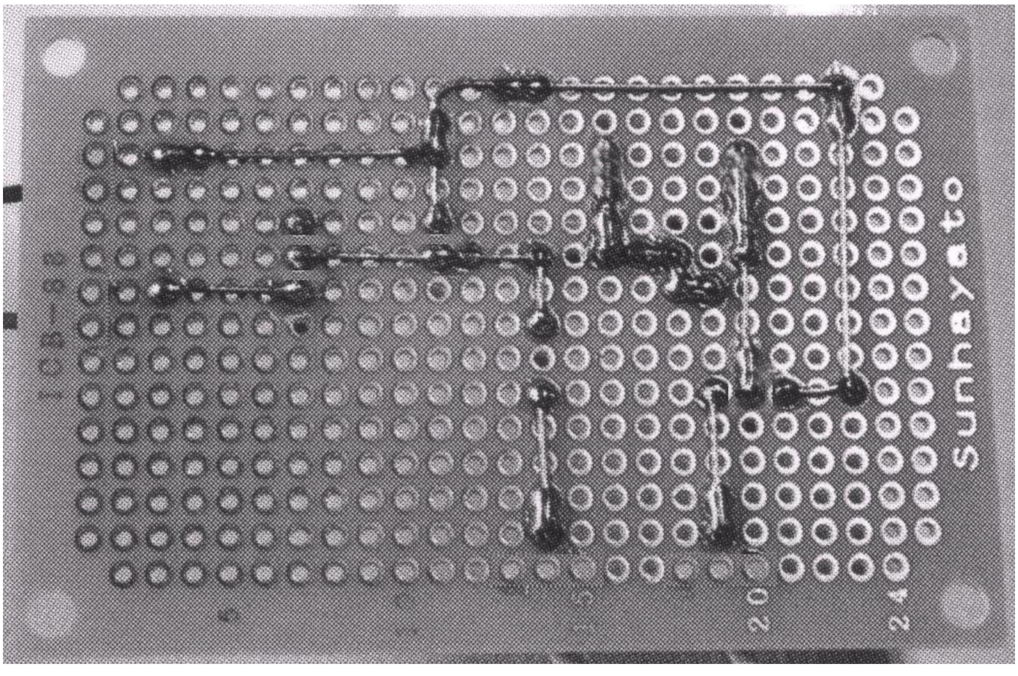


図１１　接続の終わったハンダ面の様子

次に、電子部品間の接続方法について説明します。まず、接続する導体となる線を用意します。ここでは、電子部品の切った足の残りと、スズメッキ線を使用します。

結線の前準備として配線接続する線の先端にハンダでメッキします。これによりハンダ付けが楽になります。また、ハンダメッキとは、電線の表面に薄くハンダを塗りつけることです（図１２）。

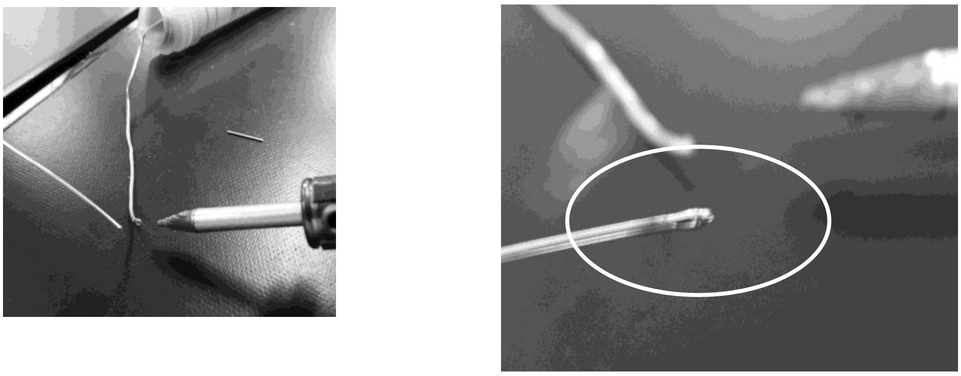


図１２　接続しようとする導体先端部をハンダメッキした様子

次に、接続するランド間（ハンダ付けをする丸い部分）を接続します。この時、前工程で導体にハンダメッキされているので、基板側のハンダとよくなじんで、ハンダが溶け合います。（ハンダは足さなくても大丈夫な場合がほとんどです）

片側が付いたら（固定できたら）、電線を接続間隔に合わせて適当な長さでニッパで切り、もう片側もハンダ付けしたら、その間の接続は終了です。以下、同様に他の接続ポイントも接続してください。

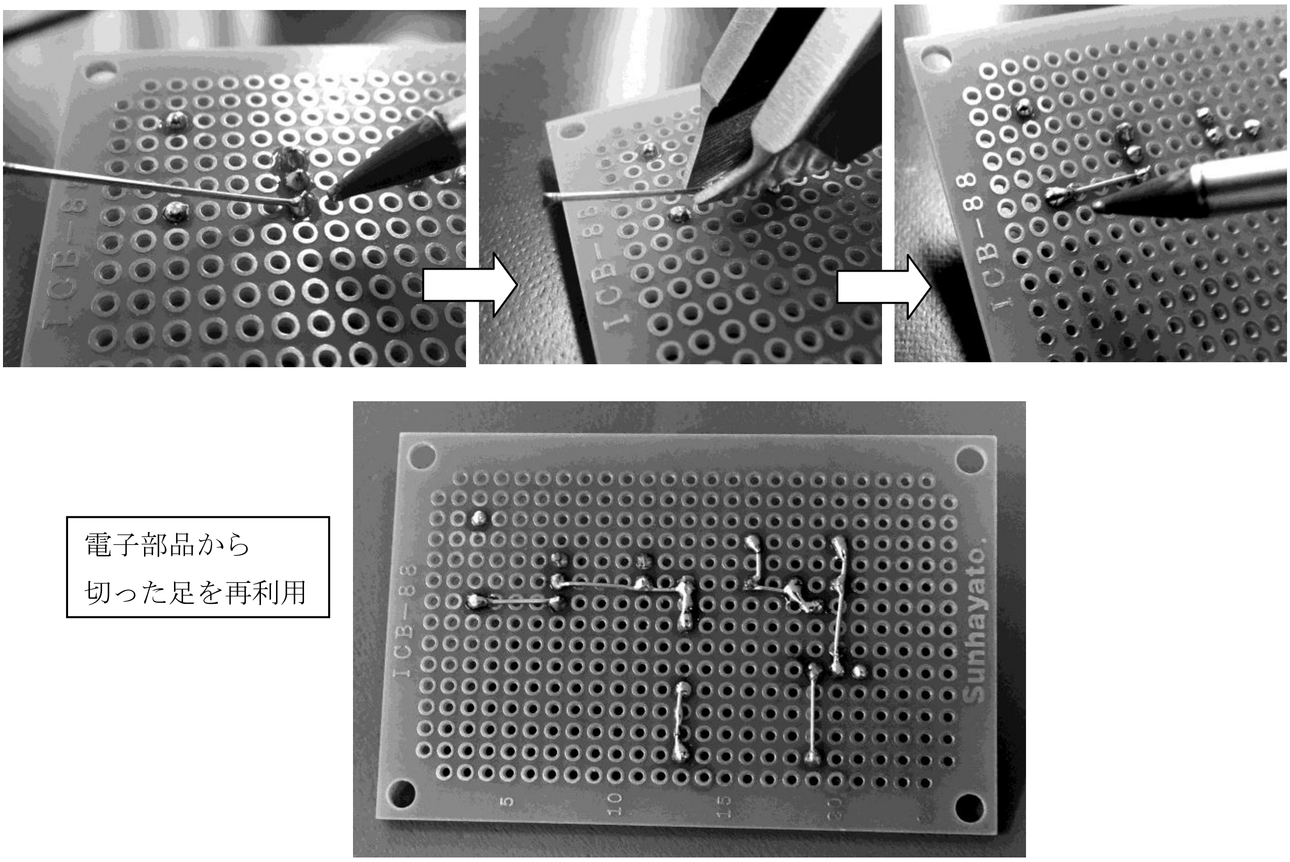
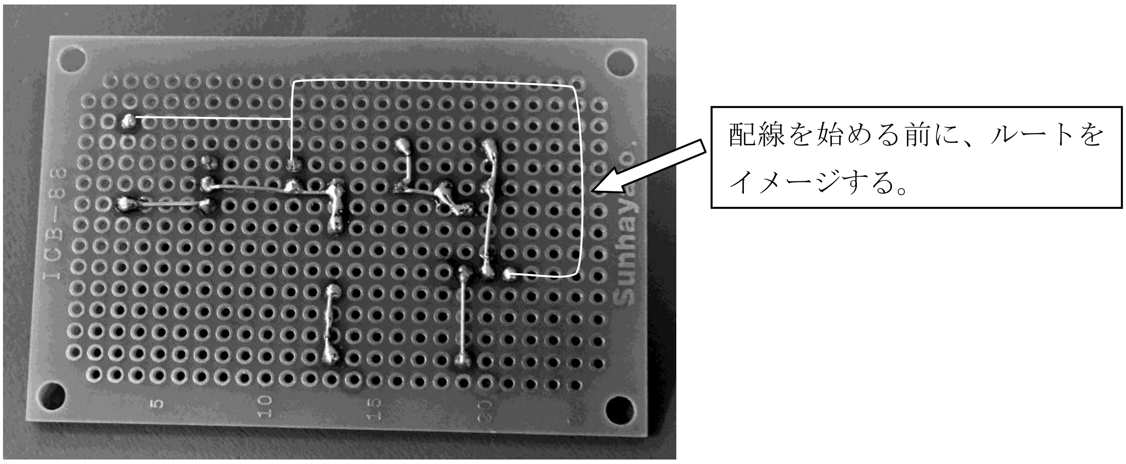
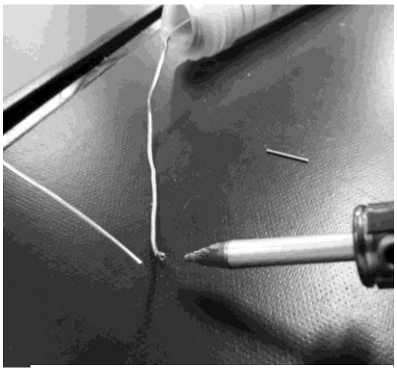


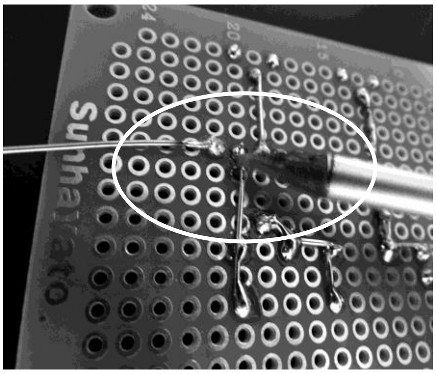
図１３　比較的接続間隔の狭いランド間を接続した様子

最後、外周を引き回す配線接続にはスズメッキ線を使って接続します。配線を引き回すルートを確認します。（自信が無い場合は、マジックや鉛筆で下書きをしても OK です） 配線が変わった際は、その度、ハンダメッキを忘れずに行うことが上手にハンダで接続するコツとなります。

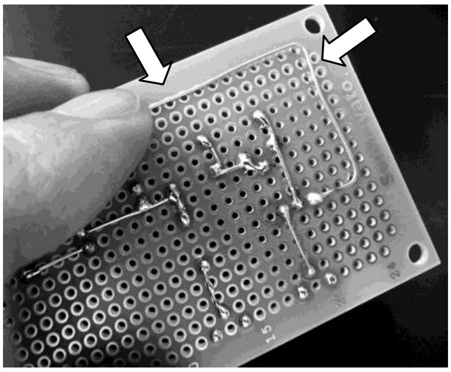




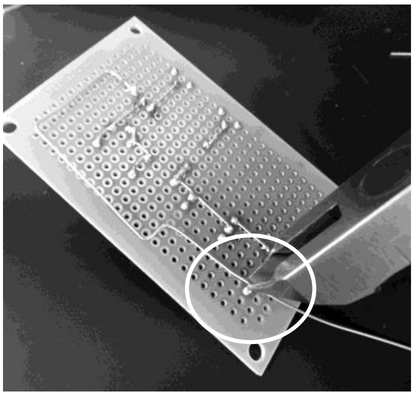
①まず、ハンダメッキをする



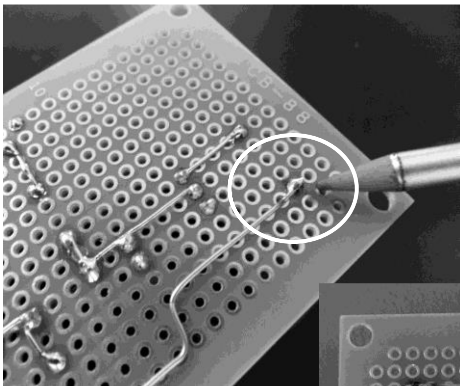
②始点となる部分をハンダ付け固定



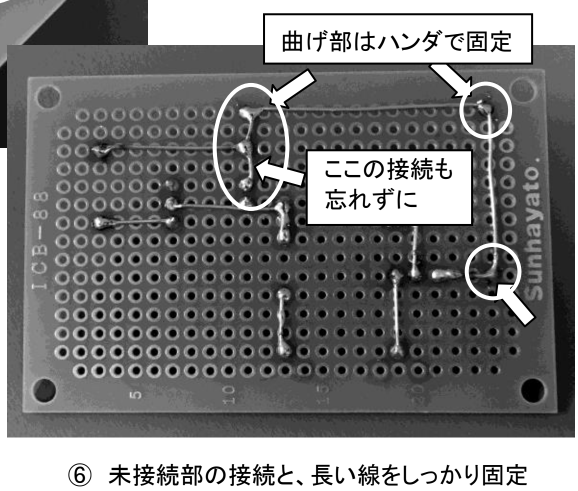
③ルートイメージに合わせて引き回す



④終点に合わせて切断



⑤終点をハンダ付け



⑥ 未接続部の接続と、長い線をしっかり固定

図１４ グランドライン（外周）を接続する手順

５）基板へ周辺電子部品の接続

作成した基板に、被覆を剥ぎ取ったリード線と、電池スナップのリード線を、印を付けた場所へ芯線を通して、ハンダ面でハンダ付けで接続する。

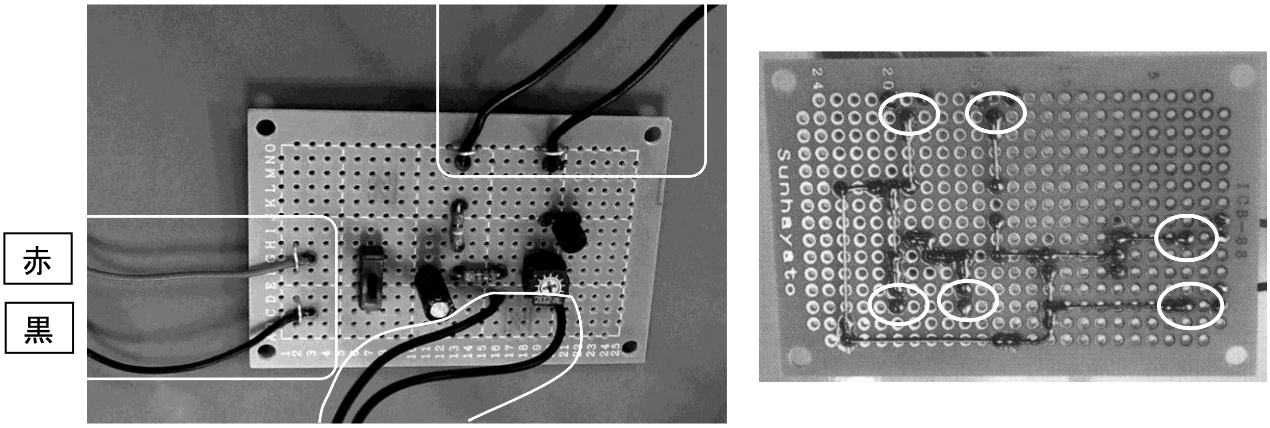


図１５　リード線をハンダ付けした様子

図 16 のように、リード線の固定をすると、この装置を使用時にリード線が断線するなどのトラブルを防ぐことができ、長期間安定した使用が期待できるようになります。(時間が無い場合は省略可)

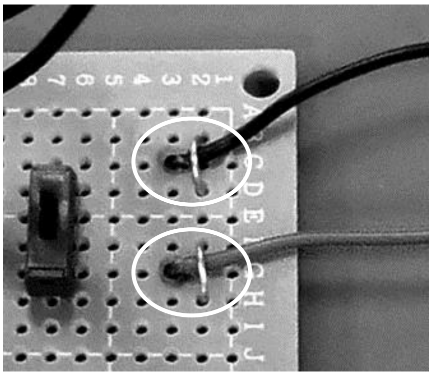


図16 スズメッキ線をＵ字に曲げて線の根元を固定する

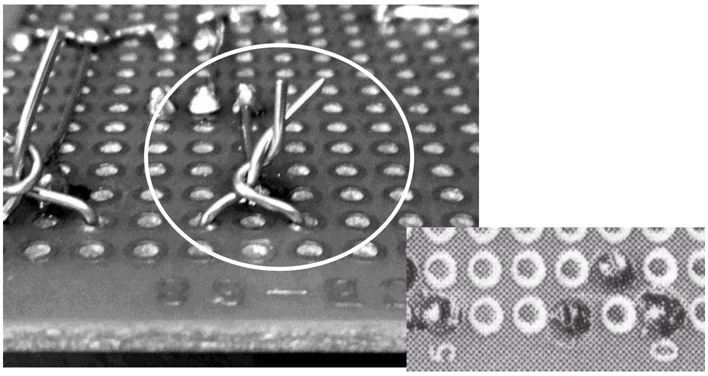


図17 固定するスズメッキ線は、ハンダ面でねじって固定も、ハンダ固定でも良い（ハンダで固定した場合↑）

６）パネルメータの取り付け

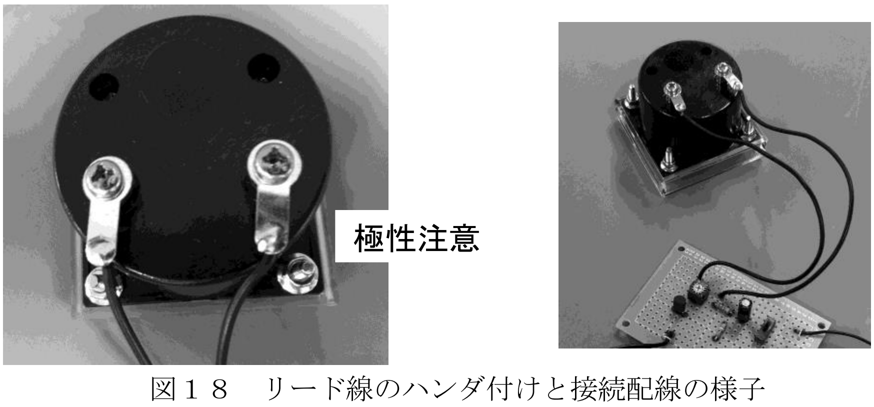


図１８　リード線のハンダ付けと接続配線の様子

端子にリード線をハンダ付けした後、ネジで端子を固定する。**メータは極性がある**ので接続に注意。

７）テスト棒（端子）の接続

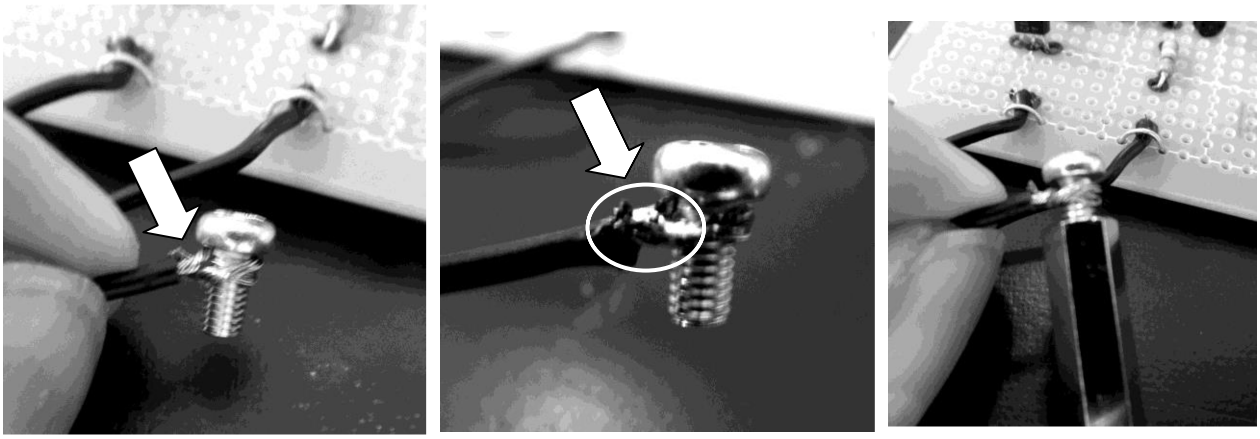


図１９　リード線の被覆を長めに剥ぎとりネジの頭側で巻きつけて、ねじって締め付ける。ねじった部分をハンダ付けしてほどけないように固定する。最後に端子をドライバを用いてしっかりネジ止めする。

８）動作確認と、パネルメーターの調整

ｉ）　単３電池を２本を電池ボックスに入れて、基板のスイッチをONにする。
ⅱ）　①のテスト棒（端子棒）を互いに接触させ、メータの針が動けば正常です。
ⅲ）メーターの調整は、両端子を接触させたままの状態で、②のドライバで半固定抵抗を回しながら③のメータが１００uAちょうどになるように調整する。
ⅳ）実際に２本のテスト端子を手で握って、メータがだいたい半分くらい振れます。
強く握ったり、弱く握ったりしてメータの振れ方を確かめてください。

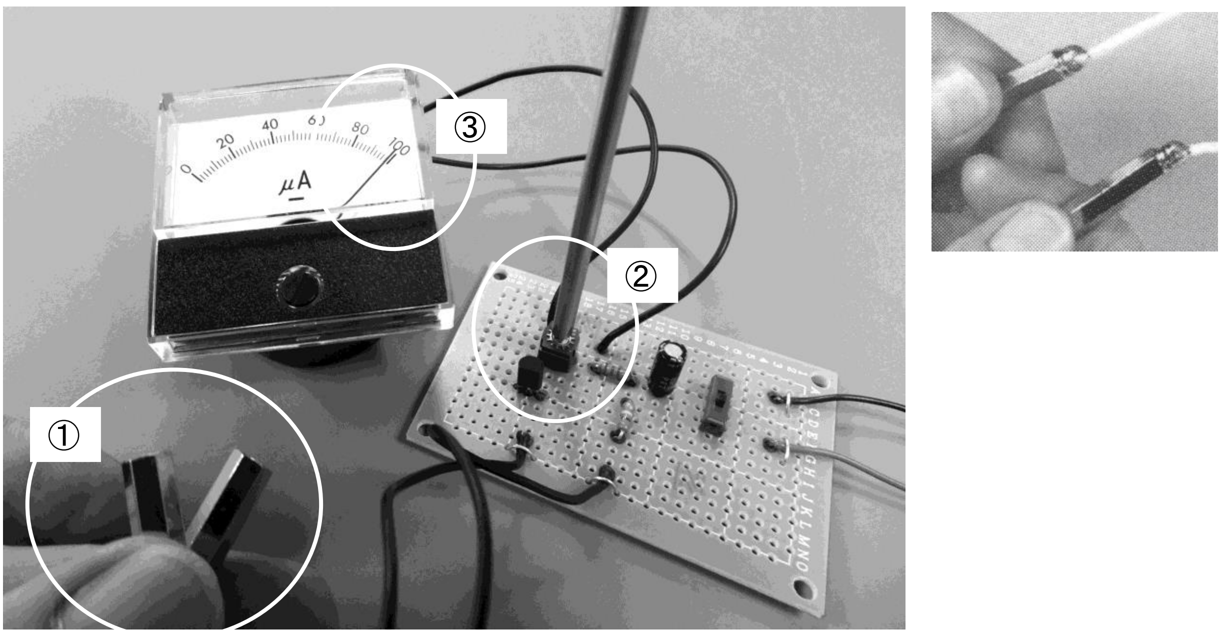


図２０　完成したウソ発見器の調整方法と使い方

記録日　　　　　　年　　月　　日

工学へのステップ課題

自作した嘘発見器を使用して、実験結果に近似する一次関数を最小二乗法で求めてみましょう。

＜実験結果＞

	抵抗 R	電流値[μA] (y_i)	$\ln R$ (x_i)	$(\ln R)^2$ (x_i^2)	$\ln R \times I$ ($x_i y_i$)
1	100KΩ				
2	220kΩ				
3	330kΩ				
4	470kΩ				
5	510kΩ				
6	560kΩ				
7	620kΩ				
8	680 kΩ				
9	750kΩ				
10	820kΩ				
11	910kΩ				
12	1MΩ				
13	1.5MΩ				
14	2.2 MΩ				
15	2.4 MΩ				

＜計算欄＞

最小二乗法により求めた一次関数の式 ＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

ウソ発見器　オンラインバージョン

（ここからは電子工作課題をオンライン用に追加した実習テキストです）

１．製作回路

自宅で行うことを想定し、「うそ発見器」の回路を少し簡素化しています。次に製作する電子回路をしましします。

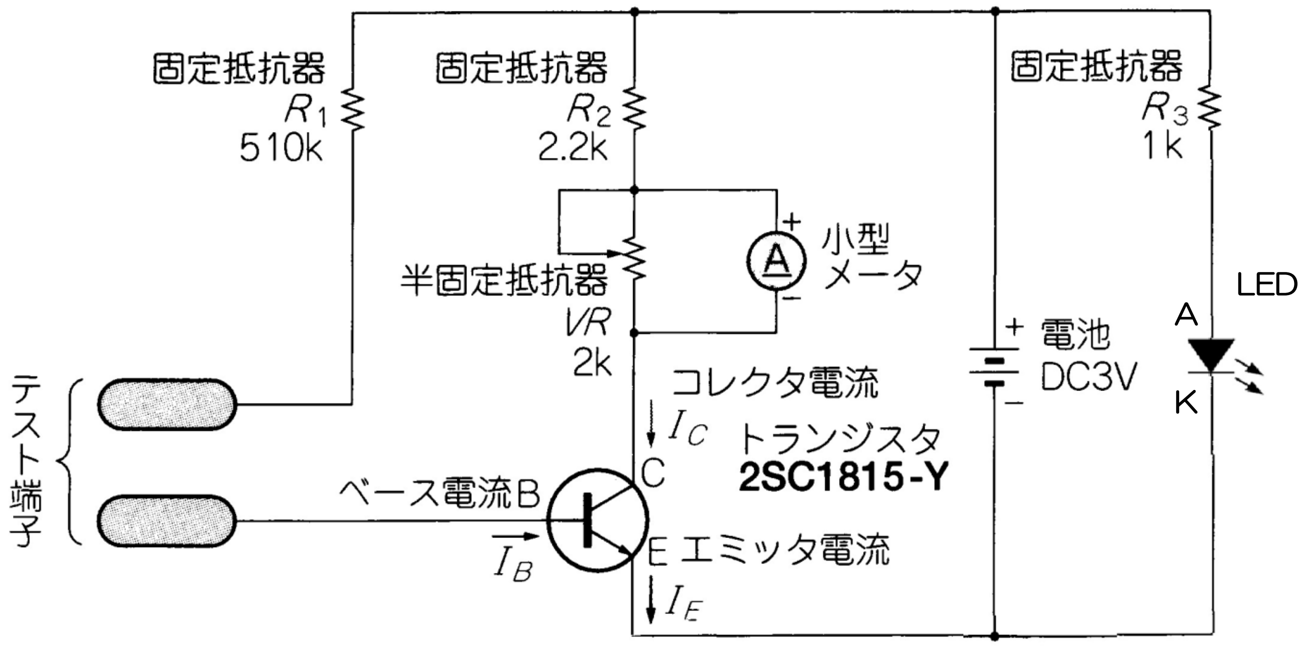
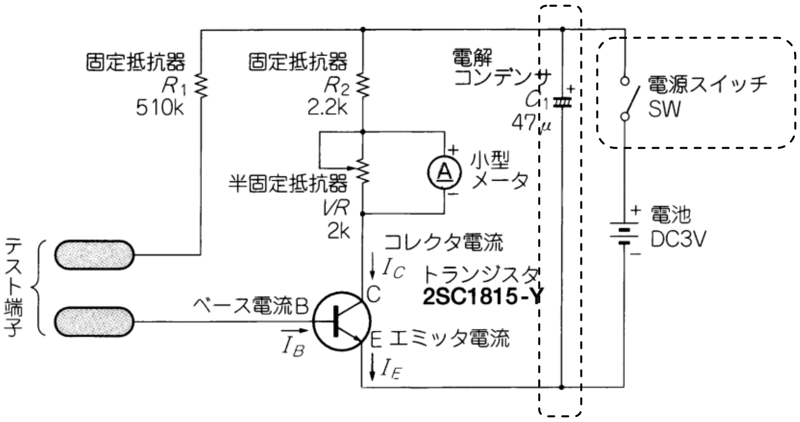


図１　うそ発見器（オンライン用）の回路図



オンライン課題で作成する回路は、右の図２の破線部が省略され、上記右のLED 回路部を追加しています。

図２　うそ発見器（テキスト冊子）の回路図（参考までに掲載）

２．部品表と回路記号と実際の部品について

２－１、部品表

表１に部品表を示します。手元の部品が下記の表のように揃っているか確認してみましょう。

表１　部品表

No	部品名	型名・仕様・メーカー名等	数量（個）
1	カーボン皮膜抵抗	2.2KΩ　1/4W	1
2		510KΩ　1/4W	1
3		1KΩ　1/4W	1
4	発光 LED	赤	1
5	半固定抵抗	２KΩ	1
6	トランジスタ	2SC1815　（予備　１個）	2
7	ブレッドボード	170 タイポイント	1
8	電流計	直流　100uA	1
9	電池スナップ	B 型スナップ	1
10	電池ボックス	単 3×2 本用	1
11	アルカリ電池	単 3	2
12	リード線	端子付 200mm 程度　（予備　6 本）	10
13	評価用抵抗のセット	貸与（登校時に返却してください）	1 セット

２－２ 抵抗の抵抗値について

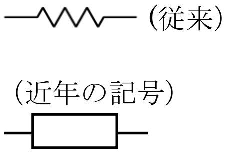
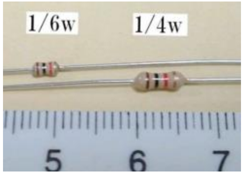
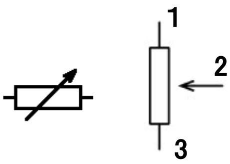
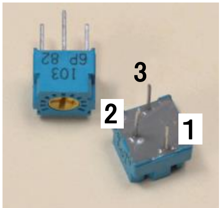
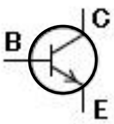
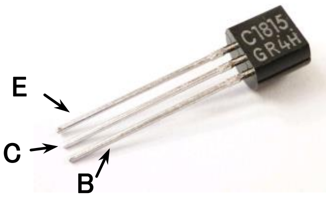
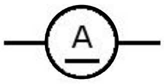
抵抗は上表において、3 種類ありそれぞれ違った抵抗値を持っています。それを見分けるために、部品に色のついた帯があります。これをカラーコードといい、抵抗値を表します。カラーコードの読み方は、テキスト（冊子）P37 にありますのでそちらを参照して、どの抵抗がいくつの抵抗値かを区別してください。

組み立てる際には、どれを接続していいというものではありませんので注意してください。

2－3 部品対応表

表２は部品名称と回路記号、そして実物の写真を示します。製作の際に、下表と回路図の記号を対応させることで、回路の記号と実物が対応できます。

表２　主な電子部品名称と図記号、外観の対応表

No	名　称	図記号	外　観	備　考
1	抵抗			カーボン皮膜固定抵抗 1/4W
2	LED			リード(足)に極性あり （長：＋、短：―）
3	半固定抵抗	 番号対応		向きに注意 （リード(足)に役割あり、 特に 2 番を注目）
4	トランジスタ （2SC1815）	 英字対応		極性に注意 （E と C と B の足位置）
5	ブレッドボード			色は 6 色あります
6	メータ			極性に注意 （＋側と－側があり） ・最小目盛単位：2μA
7	電池スナップ			B スナップ
8	電池ボックス			単 3 型電池×2 本用 B スナップ

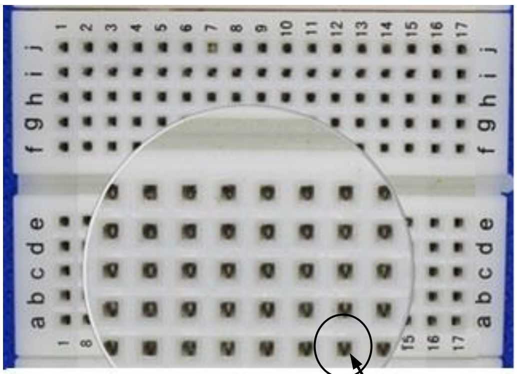
3、ブレッドボードについて

電子回路を製作するとき電子部品どうしを接続して作りますが、その時、ブレッドボードという電子部品と電子部品のリード線（足）をつなぐためのツール（道具）を用います。つまり、ブレッドボードはボードの穴に部品を差し込むだけで接続ができます。そのためハンダ付けは必要なく、初心者が在宅なので電子工作をするには便利な基板です。

3－1、ブレッドボードを使用するにあたり、構造を知りましょう。

今回使用するブレットボードの外観です。色は6色あります。

今回使用するブレッドボード

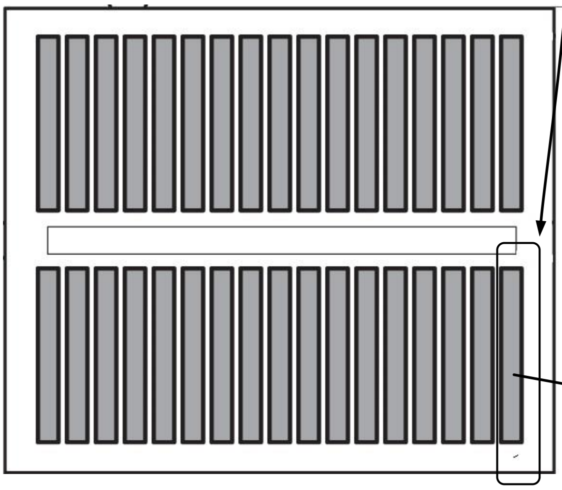


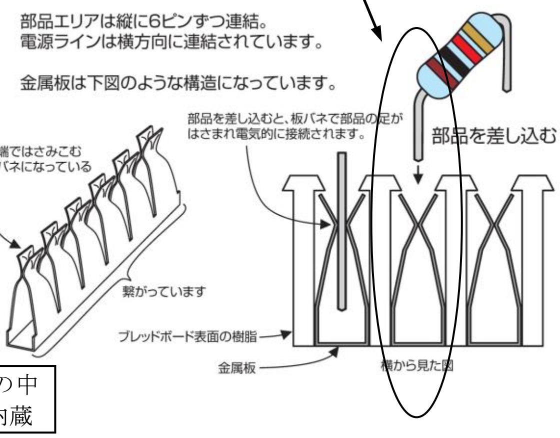
拡大図

構造は以下のようになっています。

この列がこちらのグレー部に対応

この穴に電子部品の足を差し込んで使う





このグレー部の中にこの電極が内蔵

図3ブレッドボードの構造図

つまり、一つのグレー枠内に差し込んだ電子部品の足は、その枠内で全て接続できます

ブレットボードのこの仕組みを利用して、電子回路を実現してみましょう。

4、電子回路の作成

4－1　回路図と電子部品の関係

簡単な回路の作成で練習してみます。始めは、図1に示した回路の丸で囲った、右側の回路を作成してみます。この回路は LED と呼ばれる電子部品を光らせる回路です。

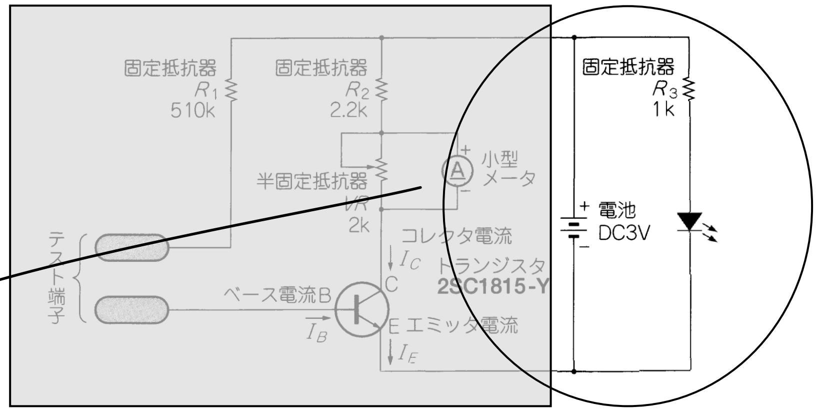


図４　うそ発見器（オンライン用）回路図の LED 回路部分

この部分だけの回路を整理すると図５の回路になり、図６は部品ごとに分解した図です。

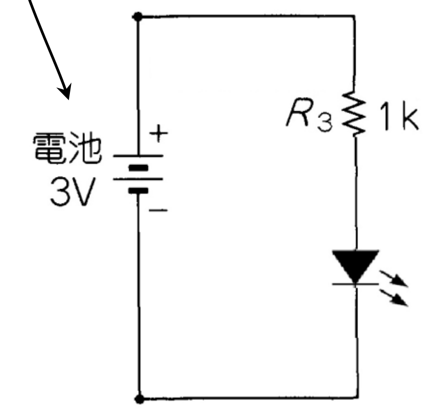


図５　LED の回路

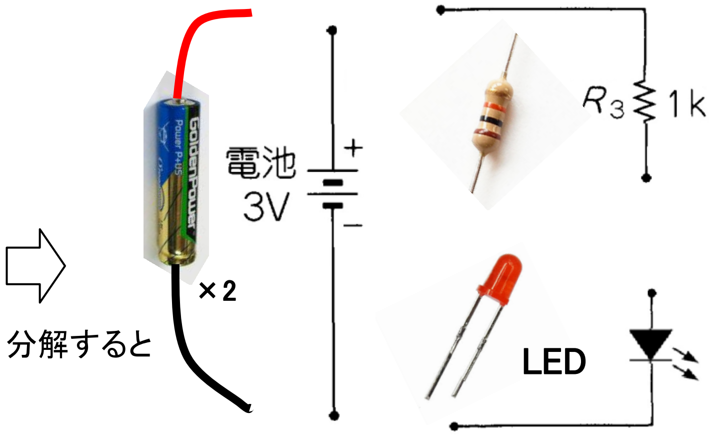
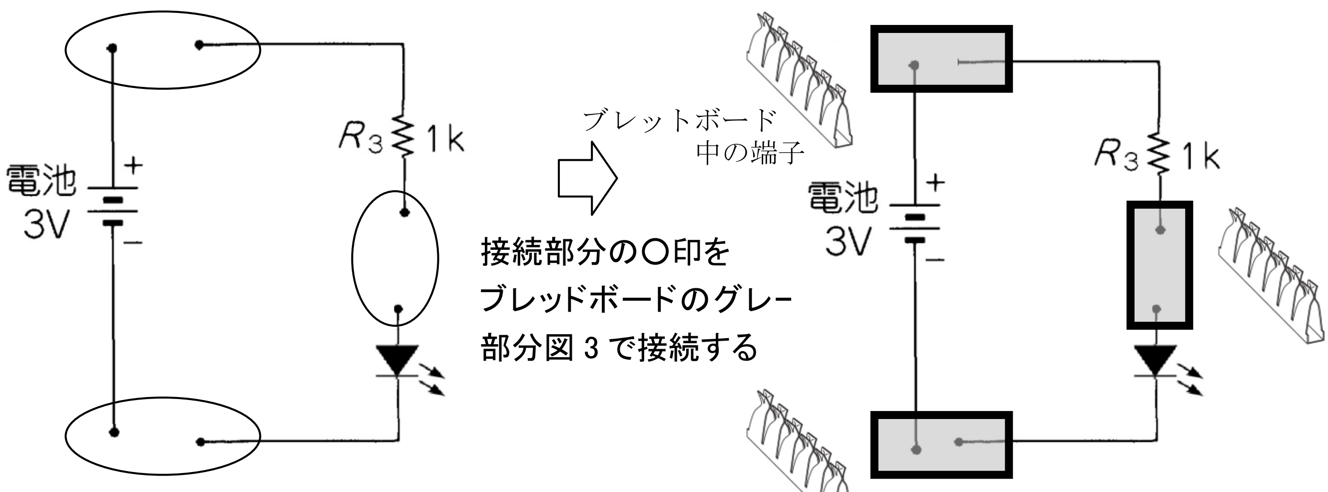


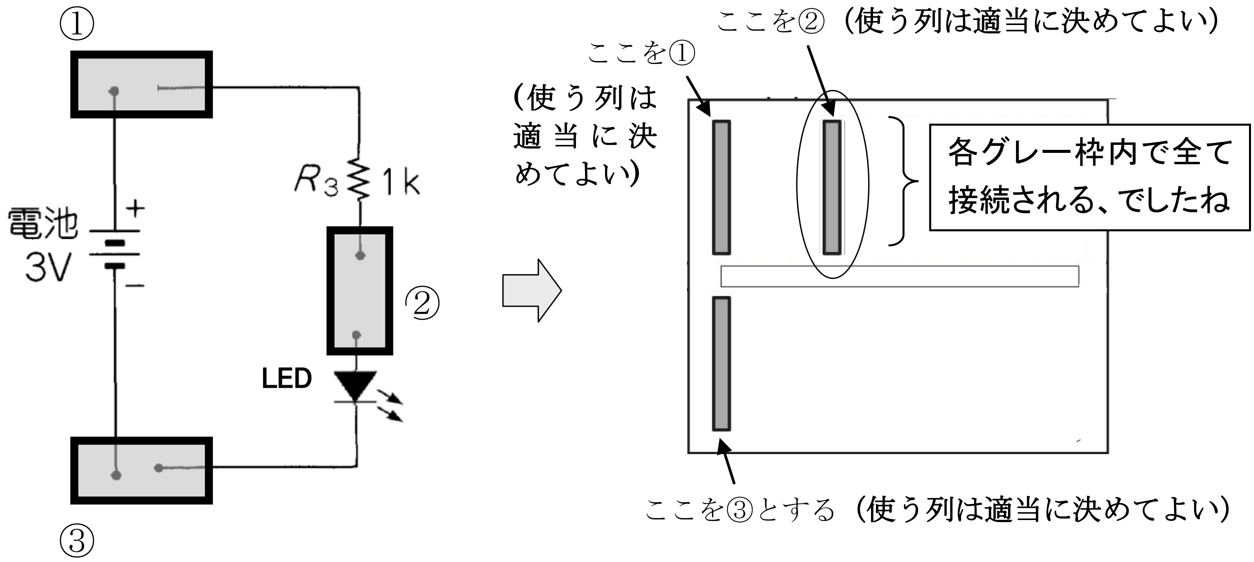
図６　図５の回路を分解した図

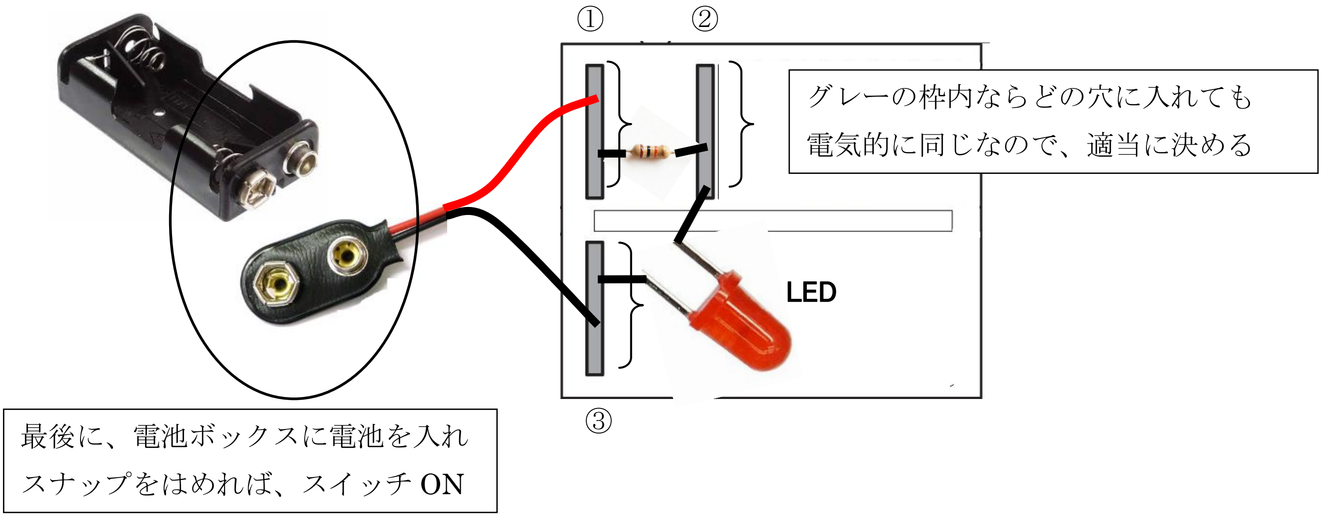
分解した図記号が、一つの部品を表していますので、●の部分を接続すれば回路が完成します。



4-2　電子回路の作成

【製作課題１】練習として、発光 LED（電子式のランプ）を光らせる回路を製作します。





LED は光りましたか？　無事に、LED が発光すれば、製作は成功となります。
光ったことを確認したら、スナップの線はブレッドボードから外さずに
先に電池ボックスから電池を外すか、〇で囲った部分のスナップを BOX から外して下さい。

【危険】回路を使用しないとき、使い終わったら必ず電池を外してください

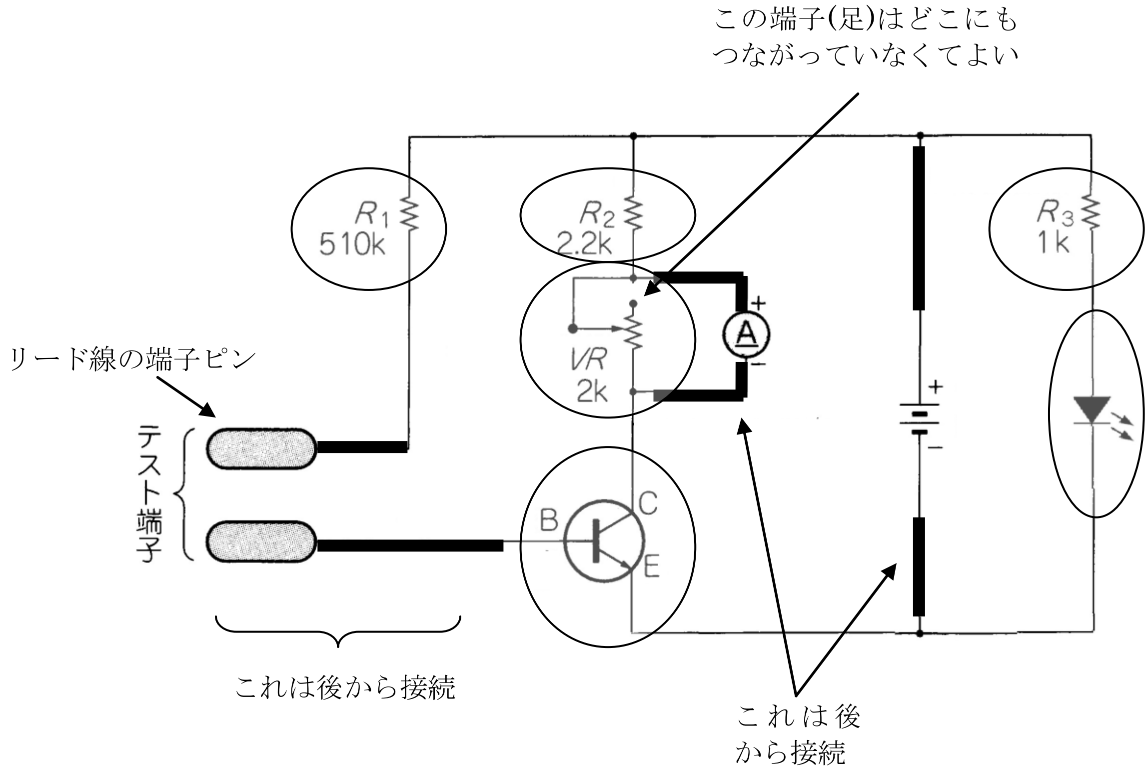
電池ボックスをつなぐスナップの線がむき出しなため、簡単にショートしてしまいます。
ショートすると電池が発熱し非常に危険な状態になります。

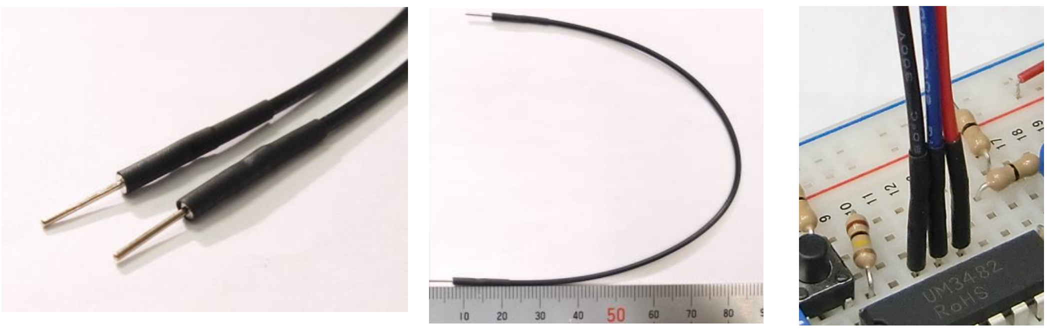
※ショートとは、電気の＋と－を直接つなぐことをいい、非常に**危険な状態**です。

４－３、うそ発見器の製作

うそ発見器の回路を製作するときの手順として、
まず、○印で囲った部品を使用します。これらの部品と部品を、ブレッドボードを用いて、製作課題１の要領で接続します。

それ以外の、測定対象物に接触させる下図の端子付きのリード線（太線部）と、A電流計とそのリード線（太線部）を接続します。電池とそれに接続するリード線は回路が完成した後に追加してつなぎ合わせるように製作します。電子工作における様々なトラブルを少しでも回避するため、事前に、練習課題２を行います。





端子付きのリード線のイメージ図

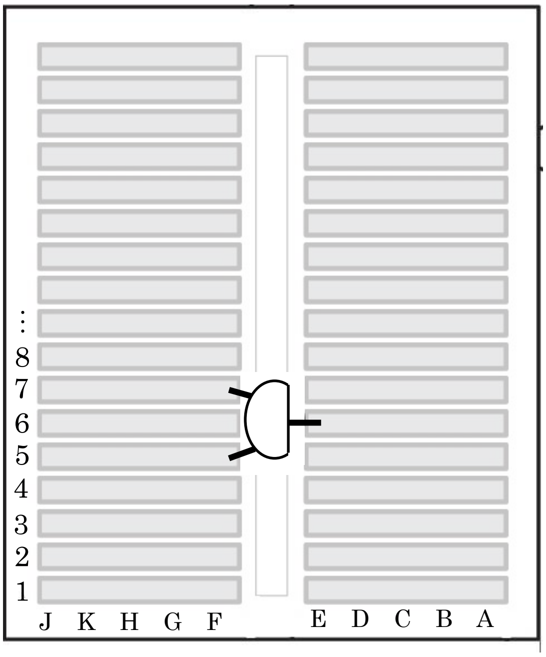
４－４、実際の製作前の接続のイメージトレーニング

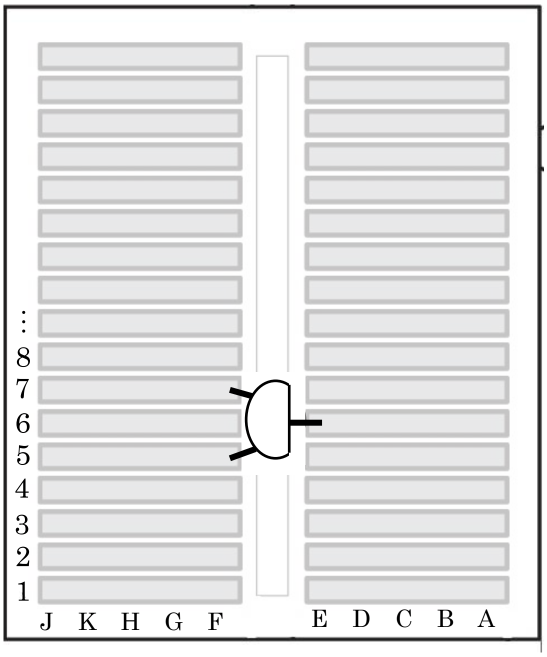
【製作課題２】

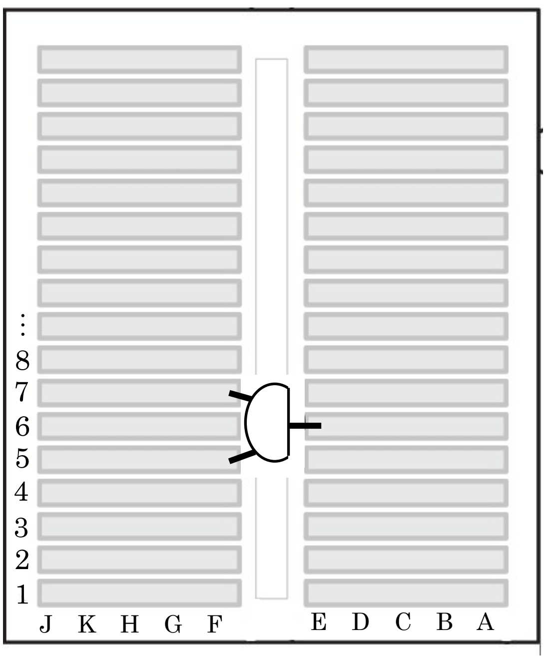
実際に製作する前に、ブレッドボードにどのように配置して部品間を接続すれば、回路図が実現できるかを**紙の上に電子部品の絵と足を書き込んでください**。

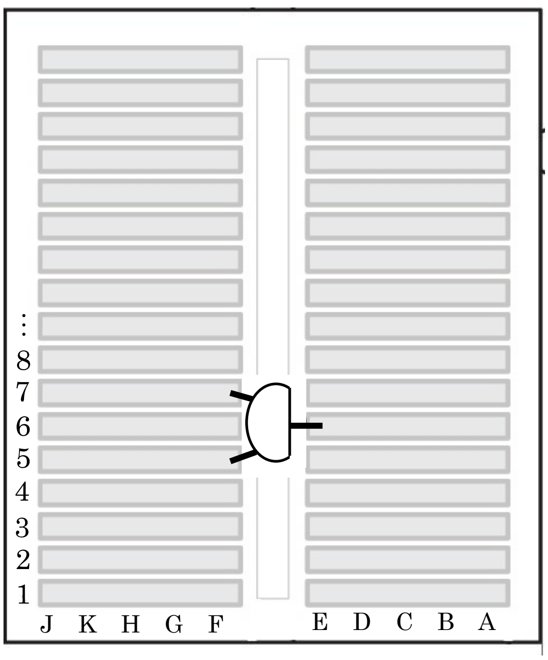
次に、描いた図と回路図を対応させて接続に間違いがないことを確認してください。
（製作はこれが電気的に正しいことが確認できてから始めます）

※課題２では、トランジスタの向きと配置は下記の**全員共通の配置**で行うこととします。
（部品の配置は、いく通りもの配置が考えられるため、若干制限を設けたいと思います）
なお、下記の下書き用の４つの図は、その都度消さずに書き直しができるように用意したもので、１つで書ければ残りの３つは予備としてください。



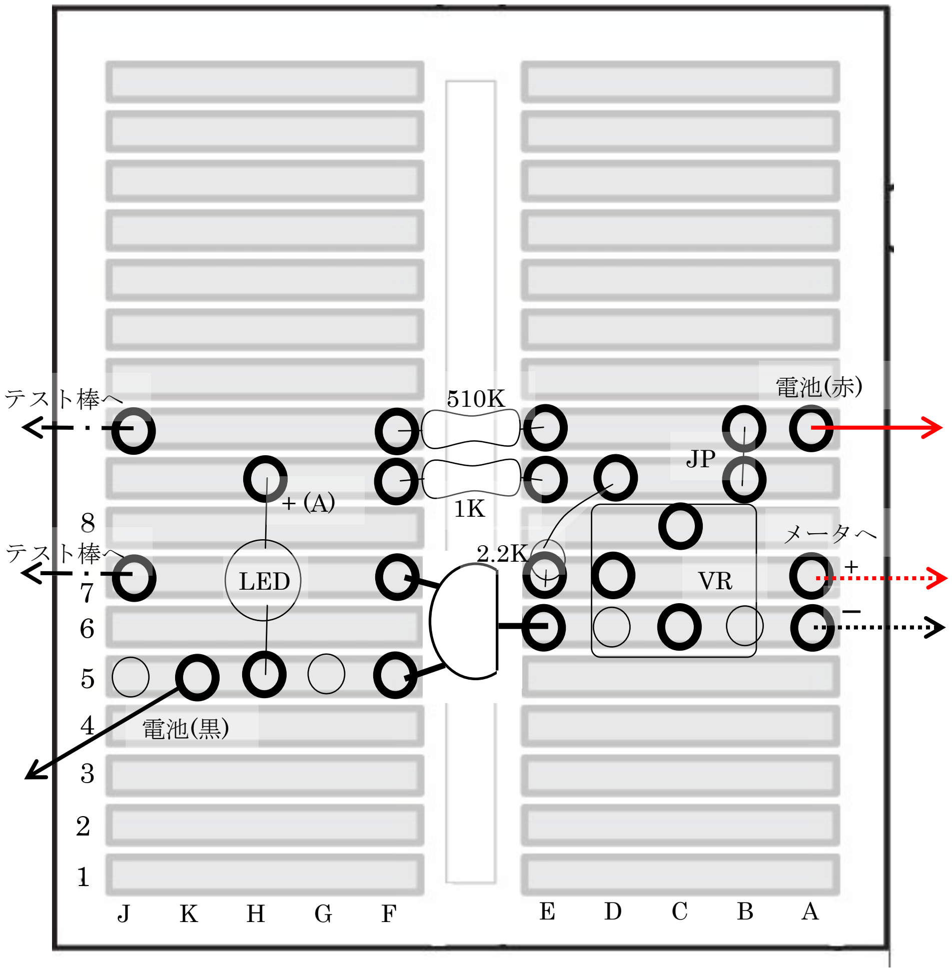






４－５、実際の接続例

P59 の回路図の接続方法は１つではありません。さまざまな配置や接続方法があります。
下記の図は、一つの参考例です。



オリジナル実験　成果発表用パワーポイント作成例

例
- *ウソ発見器の製作と自由実験*
- *嘘発見器の製作と評価*
- *ウソ発見器製作のまとめ*
- *工学ワークショップ（ウソ発見器製作のまとめ） など*

桐蔭横浜大学医用工学部　臨床工学科一年
B27C012　桐蔭　花子

1

自分なりの学びのポイントを列挙する

1. 目的

- ・電子工作を通して、電子回路の実践力を習得
- ・数値の扱い方や、片対数グラフの書き方を習得
- ・実験式（回帰式etc）の求め方を習得する
- ・パワーポイントを使ったプレゼンテーションの練習

2

2. 嘘発見器とは

緊張や感情の動揺などによって変わる皮膚の電気抵抗を利用し、生理現象の変化から被験者が嘘をついているかどうかを判定する装置です

調べて1枚以内に簡潔にまとめる

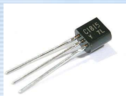
3

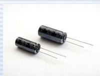
これらは自分のもので

3.部品

回路図もあってもよい

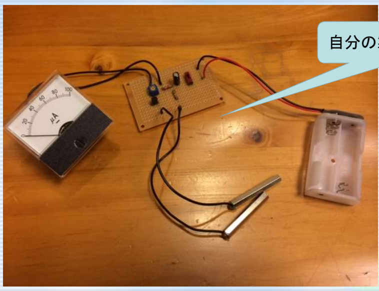
- ・トランジスタ
- ・ユニバーサル基盤
- ・カーボン皮膜抵抗
- ・アルミ電解コンデンサ
- ・半固定抵抗器
- ・小型メーター
- ・金属スペーサ
- ・ねじ
- ・電池ボックス
- ・電池スナップ
- ・スライドスイッチ





4

5.完成品



自分の製作品の写真で

5

6.回路評価

表2　抵抗に対する電流値

抵抗R[kΩ]	電流I[μA]
100	84
220	70
330	61
470	51
510	49
560	48
620	45
680	42
750	40
820	38
910	36
1000	33
1500	25
2200	18
2400	16

“手書き”グラフの写真を貼る

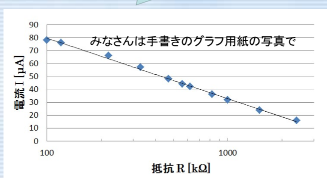


図3　ウソ発見器　抵抗ー電流特性

6

7. 実験式による評価

1）グラフより算出した実験式（片対数グラフより）

Y= −21.08ln（x）+180.24

計算過程があってもよい

2）最小二乗法により算出した実験式

Y= −22.10ln（x）+187.08

結果：1）と2）がほぼ等しく、グラフと実験式が対応してる。

7

8.オリジナル実験

～体重と電流の関係～

8

9. 目的

・体重によって電流の値に変化があるのかを調べる

9

金澤瑠璃1

10. 実験方法

1.体重を計る

2.全員が同じ条件（就寝前）で電流の値をはかる

3.同じ条件で2日間測る

10

11. 実験結果

1日目

表3 体重と電流値

①	A	B	C	D	E	猫
体重[kg]	100	64	63	54	36	3
電流値[μA]	35	52	51	59	69	28

2日目

②	A	B	C	D	E	猫
体重[kg]	100	64	63	54	36	3
電流値[μA]	42	49	53	61	66	24

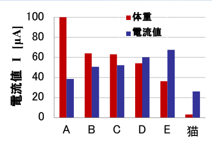


図1 体重と電流値の関係グラフ

“折れ線グラフ”もよい

11

12. 考察

・実験結果から、多少の誤差はあったが おおかた体重が重くなるほど抵抗が大きく電流値は小さくなり 軽くなるほど抵抗は小さく電流値は大きくなる事がわかった。

・猫の肉球からも人と同じように電流が測れたが、人と比べると電流値は小さかった。

12

13. 感想

・基板に電子部品を正しく付けるのが大変だった。

・回帰式を求めるのが大変だった。

・パソコンの操作に慣れていなかった為、PowerPointを作るのが大変だった。次にやるときはもう少し製作時間を短縮し、今回以上に良いのを作りたい。

13

～ご清聴ありがとうございました～

14

オリジナル実験部分の例２

例２
オリジナル実験

～飲料水よる電流の流れやすさ～

1．目的

種類の違う液体にどのくらいの電流が流れるかを調べる。

2．実験方法

種類の違う液体を３種類用意し、それぞれの電流値を測る。

使う液体
- 水
- オロナミンC
- コーヒー飲料

３．実験結果

水…………………９０μＡ
オロナミンＣ………８４μＡ
コーヒー飲料……７６μＡ

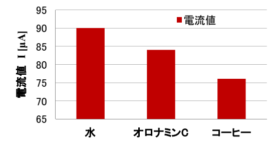


図２　飲料水と電流値

４．考察

水が一番よく流れた。
余計な成分が入ってないほうが電流が流れやすいのかもしれない。

５．感想

回路を理解しながらやった方が、もっとスムーズに進むと思った。

実際の電子部品は普段使わないので、最初は手間取ったけど、友達と協力しながらできて良かった。

今回は、やり始めるのも遅かったし、理解が追いついていない部分が沢山あったので、もっと手際よく計画的にパワーポイントの作成ができるようになりたい。

工学ワークショップ

学習成果のプレゼンテーションと提出課題について

・発表は１人３分**【発表時間厳守】**
・１人ずつスライドを使用して口頭で発表（オンラインの場合もあり）

・主な発表内容
※ 内容が多いので時間配分（上記３分以内）を考えて練習をしてください。

目安時間
1 分 30 秒

1. 目的（授業のねらいや、何をねらってオリジナル実験をしたのかを述べる）
2. 理論・原理（電子部品の説明や、回路の説明、使用工具含）
3. 製作品の紹介（写真）
4. ウソ発見器の評価
   ・**片対数グラフを作成**し、そこから**実験式（近似式）の導出**
   ・動作実験で得られたデータから**最小二乗法によって実験式の算定**
   ↑これらがすべて入っていない場合には再発表なることがあります)

目安時間
1 分 30 秒

オリジナル実験（各自オリジナルの実験テーマを設定、他人と同じテーマは NG）
5. 実験の目的
6. 実験方法
7. 実験結果（表やグラフを活用して実験データを整理する）
8. 考察（なぜそのような結果に、グラフになったのか？を述べる）
9. 感想

<u>レポート課題：　各自作成したパワーポイントファイルの提出</u>

＜提出場所＞

・**ファイル名を「学番−氏名」**にして、G-クラスルームの「**20**工学ワークショップ（臨床）**」
「**あなたの課題**」から提出してください。

ファイル記入例　　　B23C099 桐蔭太郎　　　のようにしてください。

＜提出期限＞

・発表会終了から **１週間以内**とします。　　**月　　日（　）**までに**送信**してください。

工学ワークショップ　機械加工テキスト

桐蔭横浜大学 医用工学部
臨床工学科

2022 年 5 月 10 日改訂

編集　森下武志

TOIN GAKUEN