

# 展示物・展示入力装置を理解するための マイコン制御学習講座に関する研究

\*家田 隆

IEDA Takashi

要旨：千葉県立現代産業科学館（以下「当館」と表記）では、現代産業の歴史、先端技術への招待、創造の広場と3つの常設展示がある。その中でも、筆者の担当である「先端技術への招待」に展示してある半導体・コンピュータ・センサ・複合材料などをわかりやすく学習するためのアプローチを検討した内容を報告する。本報告は今年度中止となった当館事業「高校生対象の単位認定講座」で取り扱う予定であった内容である。

キーワード：半導体，マイクロコンピュータ制御，センサ技術，電子回路設計，展示物教材，単位認定講座

## 1 はじめに

千葉県立現代産業科学館(以下「当館」と表記)は、平成6(1994)年6月15日に子供から大人までだれもが産業に応用された科学技術を体験的に学ぶことができる場を提供することを目的として設置された。

現在新型コロナウイルス感染症拡大防止のために展示を一部制限している中での運営ではあるが、常設展示のほか、様々な実験や工作教室などの講座やイベントがあり、参加者に好評である。本稿では高校生を対象とした単位認定講座(新型コロナウイルス感染症拡大防止により今年度中止)で行う予定であった学習内容や大人を含めた幅広い層に対して、当館の展示物を理解するためのアプローチについて研究した内容を報告する。

## 2 常設展示について

### (1) 常設展示概要

当館の常設展示は、産業に応用された科学技術を全体のテーマとして3つの部門(現代産業の歴史、先端技術への招待、創造の広場)で構成されている。来館者が訪れる最初の展示室である「現代産業の歴史」は、千葉県の産業の歴史と未来、電気・石油・鉄との出会い、電力産業、石油産業、鉄鋼産業の5つのコーナーに分かれている。「先端技術への招待」は、エレクトロニクスや新素材、バイオテクノロジーなどの先端技術とこれらの先端技術を根底から支えている超高真空や超低温などの極限環境をつくりだす技術について紹介して

いる。「創造の広場」では、美しくて不思議な科学の現象や科学技術の原理の仕組みを、参加・体験型によって紹介している。この展示部門は、体験する実験装置を中心とした「創造の科学」・「生活の科学」の展示と、科学の実験を交えた人形劇場である「サイエンスステージ」、そして高電圧の迫力ある放電実験を紹介する「放電実験室」の4つの展示項目からなっている。

### (2) 先端技術への招待ーエレクトロニクス分野

本稿では「先端技術への招待」の展示物に焦点をあて、特にエレクトロニクス分野(集積回路などの半導体技術、コンピュータ、センサ)などの常設展示内容の原理や仕組みをわかりやすく理解するための講座を検討することとした。集積回路やコンピュータ、センサ、複合材料などを使用した制御技術や半導体が用いられている電子回路設計などを念頭に置いている。また新型コロナウイルス感染症対応として、電子回路設計による展示入力装置(スイッチ)の仕組みや非接触による入力(センサ)を使った制御について検討することとした。エレクトロニクス分野の展示内容を紹介する。

### ア 集積回路と情報量

小さなシリコンチップ(半導体材料)の中に大規模な電子回路を組み込んだものを集積回路という。今日の情報化社会の繁栄は、この集積回路の発達により高性能化した電子機器によってもたらされている。展示では、集積回路の製造工程として、単結晶シリコンインゴットからシリコンウエハに切り出したもの、ウエハから回路パターン印刷、

エッチング、チップ化、リード線取り付けなどの製品が出来上がるまでの工程を紹介している。

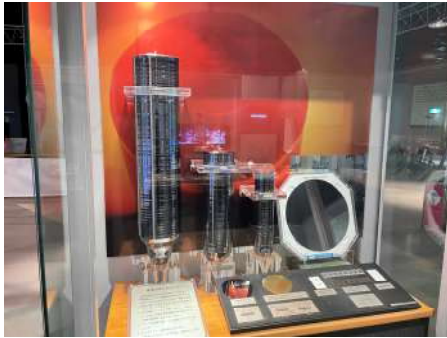


図1 集積回路の製造工程



図2 シリコンウエハから集積回路製作過程

集積回路はコンピュータやデジタル家電内部で記憶用に使用されるメモリという半導体の一種である。展示されているメモリの記憶容量は1ギガビット(信号のある、なしを記憶する場所が10億カ所ある)である。情報量がどのくらいかという、例えば、漢字なら約6,400万字分(新聞約4,000ページ分)を記憶することができる。集積回路は小さなシリコンチップの中にトランジスタやコンデンサなどの部品が多数集まっている。



図3 集積回路と書物の情報量比較展示

## イ コンピュータ

コンピュータはプログラムにしたがって情報処理を行う機械で、入力、記憶、演算、制御、出力の5つの機能で構成されている。コンピュータの性能は集積回路の発達とともに急速な進歩をとげ、今では人間の知的な能力の一部までもつようにな

った。現代の社会をささえているさまざまなコンピュータとそのプログラミングシステムについて紹介している。

実物のマザーボード展示として、スーパーコンピュータ「京」を展示している。「京」は、理化学研究所と富士通株式会社が共同で開発をしてきた世界最高クラスの計算能力を持つスーパーコンピュータである。計算速度が10ペタフロップス(1秒間に $10^{16}$ 回=1京回の計算)を実現したことから「京」と名付けられた。平成23(2011)年に完成し、平成24(2012)年には研究機関等との共用が開始された。さまざまな分野で成果をあげた「京」は令和元(2019)年に役目を終え、8月30日にシャットダウン。その役目は後継機である「富岳」に引き継がれた。



図4 スーパーコンピュータ「京」展示  
ウ センサ

熱や光、ガス、磁気などさまざまな外界の状況を感じて反応する機器のことをセンサという。エアコンが自動的に部屋の温度を調整したり、電気炊飯器でほどよくご飯が炊けたりするのはセンサの働きによるものである。機械の中で人間の感覚器と同じような役割を果たすのがセンサである。センサからの情報は電気信号としてコンピュータに伝えられる。そしてコンピュータが判断して命令を出し、機械を作動させる。



図5 各種センサの展示

## エ 複合材料

複合材料とは、2 つ以上の素材を組み合わせ作り上げたもので、もとの材料よりも優れた性質をもたせたものである。例えば、半導体材料である発光ダイオード(LED: Light Emitting Diode, 以下「LED」と表記)は性質の異なる2種類の半導体を組み合わせ、電流を流すと接合部分で発光する。このように、LED は電気エネルギーを光エネルギーに直接変換するので効率がよく、白熱電球に比べて低電圧、小電流で発光する。また、消費電力が少なく応答が速いなどの特性も持っている。LED は、家電製品や自動車の計器類の表示、光通信の光源などに用いられている。



図 6 LED を使った回転装置

## 3 講座検討について

### (1) 教材・講座内容等検討

前節で紹介した常設展示をもとに、電子機器や装置などの成り立ち、半導体や集積回路などを網羅する学習を検討するうえで、まずは何もない無の状態から学習することが大切であると考えた。当然展示物は完成している「製品」である。原理や仕組みを学習するうえで、一からの製作・試作や実験などをとおして、難しい内容をかみ砕いて学習する教材が適切である。半導体や集積回路の発展として、コンピュータ(主にハードウェア)がある。また、コンピュータに入力するデバイスとして、スイッチ、センサなどがある。これらの内容を網羅するには、電子回路による設計や実験をとおして、基本的な流れや動作を学習することが大切である。そして、コンピュータによる制御については、マイクロコンピュータ(以下「マイコン」と表記)による組み込み制御等の内容が適切であると考えた。特にスイッチについては、現在、新型コロナウイルス感染症拡大防止により、非接触

の入力装置の開発が急務であり、スイッチ入力について扱うよい機会でもあると考えるに至った。

### (2) 学習項目について

半導体であるシリコンを使った集積回路およびLED、トランジスタを使って回路製作を行い、半導体の仕組みを学習する。あわせて、抵抗を使用して、基本的な回路の作り方や電圧、電流の流し方などを体感することができる。また、電子機器などの組み込みシステムに使われている集積回路がある。近年、組み込みシステムの種類は多岐に渡っているが、本報告では、集積回路の一種でもある制御用 IC(PIC: Peripheral Interface Controller, 以下「PIC」と表記)を用いることで、一から回路を作り、理解を深めることに主眼を置いた。マイクロチップ・テクノロジー社が製造している PIC を使って、集積回路にプログラムを書き込む体験をすることを検討した。このことは、集積回路の情報量を意識しながらプログラム作成を行うことができ、記憶容量の可視化が可能である。常設展示では、書物の文字量と集積回路での記憶容量の関係について展示を行っており、それを理解するための方法も検討した。

表 1 関連する展示と学習項目

関連する展示など	学習項目
シリコンウエハから集積回路ができるまで	ア 半導体と電子回路設計 イ スイッチによる LED 点灯制御
コンピュータ	ウ マイコンの取り扱い
集積回路と情報量	エ マイコンとプログラム
複合材料(LED) 展示スイッチ基礎	オ LED を PIC で制御 カ 接触スイッチ制御およびその他
センサ 展示スイッチ応用	キ 非接触によるスイッチ制御

## 4 講座の学習内容について

### (1) 回路設計の基本

前節の表 1 にしたがって、学習する内容について、具体的に実験を行い検証した。なお、実験で使用したものは、秋葉原などにある電子部品専門店や身近にあるホームセンター、通信販売等で手に入る。

## (2) 各学習項目について

### ア 半導体と電子回路設計

#### (7) 実験用具・電子部品について

##### A ブレッドボード

何もない状態から必要な部品等を用意し、一からの回路製作に焦点をあて、簡易的に回路が組める図のようなブレッドボード(breadboard)を用いる。直訳すると「パン切り用まな板」である。ラジオ愛好家たちがパン切り用の木製のブレッドボード上で回路を作ってきた歴史があるので、ブレッドボードが回路の実験・試作用の板という意味でも用いられるようになった。通常電子回路は、基板に部品等を配置し、はんだ付けによって、電氣的に接続する。しかし、それは正しい回路であることが前提で行う作業である。はんだ付けした部品を取り外すことはできるが、現実的ではない。自分で考えた回路の試作や設計は、はんだ付けする前に、部品の抜き差しが簡易的に行えるブレッドボードを用いることが多い。

ブレッドボードは、2.54mmの一定間隔で並べた穴(以下「ホール」と表記)が、基板の内部で、導線により電氣的に接続されている。内部接続を利用して、はんだ付けなしに電子部品の動作実験ができる装置である。2.54mmの間隔とは、特殊な部品でない限りは、汎用的な電子部品の足の間隔サイズである。しかし、部品がどんどん小型化しており、小型チップ状の部品も多数登場している。

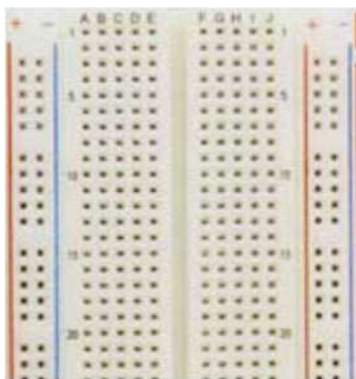


図7 ブレッドボード(TOP VIEW)

ブレッドボードのホールは、図8に示すように、

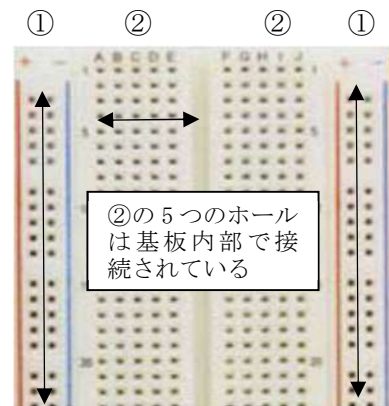
- ① 縦方向につながったグループ
- ② 5つのホールのグループ

2つのグループに分けられる。

①は主に部品に電源供給する目的に使い、②はIC等の電子部品を取り付けるエリアとして使う。①、

②のホールいずれも基板内部において、金属等につながっており、①は図示するように上下方向で、②は5つのホール間で接続されている。

①のホールは青と赤の色分けをしているが、青い線のホールはマイナス電圧またはグラウンド(0V)、赤い線のホールは、プラス極性の電源供給用として使う。なお回路点検の便宜を考え、できるだけ正電圧を暖色系の色のコード、負電源またグラウンド(0V)を寒色系のコードを使うとよい。



①の上下のホールは基板内部で接続されている

図8 ブレッドボードのホール等位置

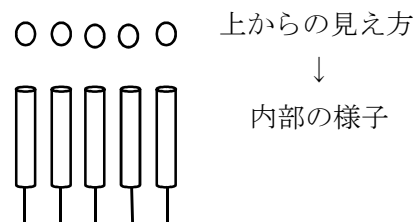


図9 ブレッドボードの内部構造

なお、ブレッドボードのホールは、上から見ている場合は、各ホールがばらばらになっているかのような印象をうける。しかしその下では、図9に示すように、ホールの下で導線がつながっている。この「見えない導線」を意識して配線を行う必要がある。

中には「回路図通りに配線した」といって、回路図と同じ部品の配置をし、部品を壊す人もいる。その部品の裏に、図の導線があり、電気配線としての接続がどうなっているか、常に考えながら行う必要がある。この実験用具は、これから紹介する全ての実験で使用する。

##### B テスタ

電気は目で確認することができない。そのため、様々な電気現象を見るための測定器がいくつか存在している。テスタもその1つであり、見えない

電気現象を定量的に扱う。半導体は条件によって、電気を通すか通さないか、電子回路で設計した回路に電気が通っているか、確かめることである。

- ① 表示部 3桁1/2 表示範囲を超えた場合には、左側に” 1 ”の文字表示

電圧や電流測定の場合、リード棒極性と逆の場合、” - ” を表示

- ② 測定切替スイッチ (電源 OFF スイッチも含む)

- ③ COM コネクタ 共通(common)極性端子 (黒いリード棒取付用)

- ④ V(電圧), Ω(抵抗), mA(電流) 測定時のコネクタ (赤)

- ⑤ 10A 測定時コネクタ (赤)

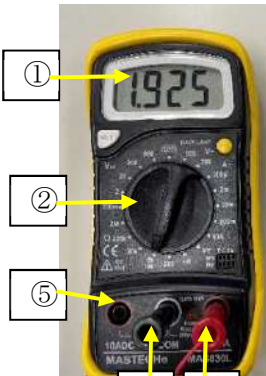


図 10 テスタ



図 11 リード線

表 2 テスタ測定対象および範囲

記号	測定対象	測定範囲	精度
V $\overline{\text{---}}$	直流電圧	200mV/2V/20V/200V/600V	±0.5%
A $\overline{\text{---}}$	直流電流	200μA/2mA/20mA/200mA/10A	±1%
Ω	抵抗	200,2k,20k,200k,2M	±0.8%
V~	交流電圧	200V,600V	±1.2%
—▶—	ダイオード	極性試験 (赤が+電圧)	
hFE	電流増幅率	NPN,PNPトランジスタ	

### C 電気抵抗

電気抵抗(以下「抵抗」と表記)は、電流の流れにくさを表し、単位としてはオーム(Ω)が用いられる。電流の流れを妨げるものであるが、電気の世界では「妨げる=邪魔をする」ではない。電流の流れる量を調整すること、回路を設計するうえで、必要な電圧や電流の値を得ることが目的である。小型化された集積回路の内部には、抵抗、コンデンサ、トランジスタなどの部品の機能が含まれている。そこで、電気の基本となる抵抗の仕組みを実験で確かめ、抵抗によって電流や電圧が調整できていることを確認する。

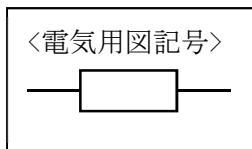


図 12 抵抗 図記号



図 13 抵抗部品写真

### D LED

信号機や駅の電光掲示板など、あらゆる場面で使用されており、身近になってきている。LEDは、電流を一方向だけ流す性質がある。図 14 は LED の回路図記号であるが、図中の A はアノード(+), K はカソード(-), A に電池+端子, K に電池-端子をつなぐ。極性があるので、反対方向に接続すると、電流は流れず発光もしない。図 15 は実際の部品写真であるが、2本の足の長さが異なっている。長い方が A, 短い方が K である。

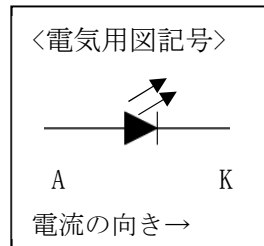


図 14 LED 図記号

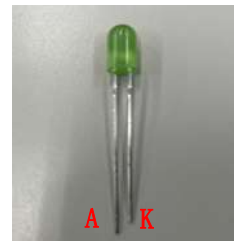


図 15 LED 部品写真

LED は半導体材料で作られている。2つの性質が異なる n 形半導体(- : negative 電子が多い半導体)と p 形半導体(+ : positive 正孔が多い半導体)を接合(図 16 pn 接合という)し、電子と正孔が移動し結合することで余ったエネルギーで両半導体接合面から発光する仕組みである。半導体は条件によって電流を流すか流さないか、温度条件や加える電圧、正しい極性・方向などによって挙動が変わる。電流を流すためには、半導体にある電子や正孔(総称してキャリア, carrier:運び手と呼んでいる)の動きが活発にならないと電流は流れないため、電圧などのエネルギーのかけ方や半導体の組み合わせが重要である。

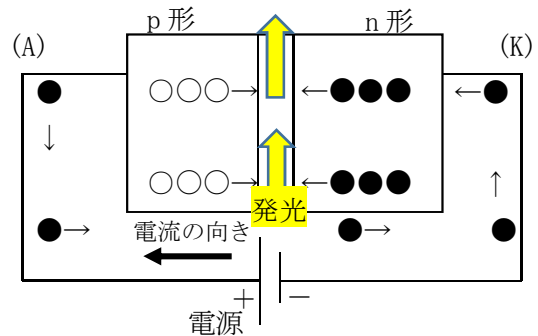


図 16 pn 接合と発光の仕組み

キャリア ○ : 正孔(+ ) ● : 電子(-)

半導体を構成する原子、代表的なものにシリコン(Si 原子番号 14=電子の数 14 個)がある。図 17

はシリコン原子をイメージした電子の状態を表す。このシリコンに熱や光、電流なども含めたエネルギーを加えると、均衡を保っていた土の電気量の状態が崩れ、原子内一番外側の電子(価電子という)が離れやすくなる。価電子が自由に動き回ること(自由電子という)で電流が流れやすくなり、半導体に電流が流れる。

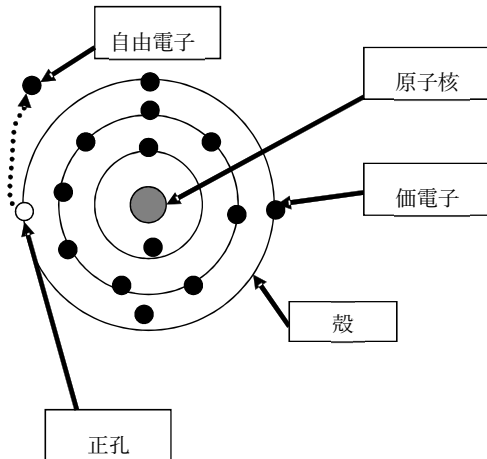


図 17 シリコン原子の電子配置図

半導体は、条件によって電流を流す・流さないがあるが、2つの性質の異なる半導体内部の動きを理解すること、前述の抵抗とLEDを組み合わせた電子回路の設計の基本になる部分といえる。そこから、さらにはセンサ入力やスイッチ入力へとつながっていく。そして、後にマイコンを使って制御するときにも必要な考え方である。

(1) 実験内容について

A 抵抗と誤差実験

テスタを使って、抵抗値を測定し、抵抗の仕組みを理解する。図 18 のように 1 本の抵抗をホールに挿す。ボードは矢印で示すように、裏側で接続されているので、それを考慮して接続しなければならないことに注意する。黄色の矢印は裏側で横に接続し、赤色の矢印は裏側で縦に接続されている。図 9 のようにブレッドボードの裏側は導体でつながっている。(図 19 は裏側写真)

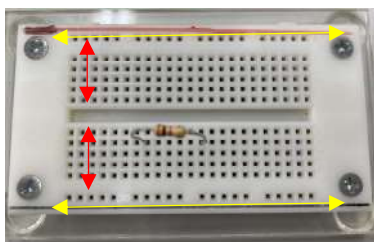


図 18 ブレッドボードに抵抗を挿入

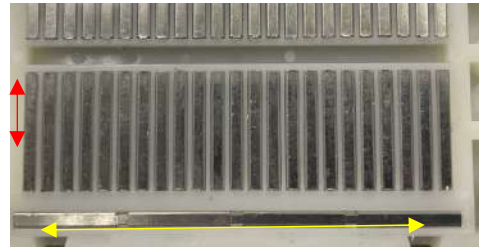


図 19 ブレッドボード裏面半分(Bottom View)

2kΩ (kΩ : キロオーム,  $2 \times 10^3 = 2000\Omega$ ) の抵抗を例に測定する。図 18 のように接続する。今回は抵抗を測定するので、テスタリード線の赤をΩ端子、黒をCOM端子に接続する。ブレッドボード上の抵抗には極性はないので、どちらに接続しても構わない。接続が完了したら、テスタのレンジを「2k」に合わせる。測定結果は、1.925kΩである。

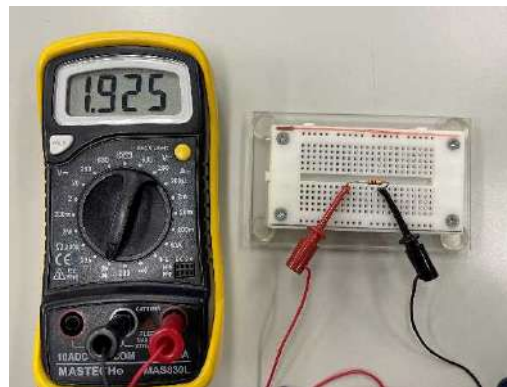


図 20 テスタ接続および測定結果

2kΩの抵抗を用意したわけだが、測定結果はそれよりも低い値であった。このことは、抵抗には誤差が存在していることを示している。また、測定器であるテスタにも誤差が存在する。今回使用している抵抗には、色が4本(図 13)入っている。これをカラーコードという。図 21 のカラーコード表から抵抗の値を求めることができる。

± 5% (E24 シリーズ)

	黒	茶	赤	橙	黄	緑	青	紫	灰	白	金
第1色 10位の値	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
第2色 1位の値	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
第3色 10のべき乗	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
第4色 公称誤差											±5%

$10 \times 10^3 = 10000\Omega = 10k\Omega$  ±5%なので、9.5kΩ~10.5kΩの範囲内に真値がある

図 21 抵抗の計算とカラーコード表

今回使用した抵抗は、「赤・黒・赤・金」である。図 21 のカラーコード表から、赤→2, 黒→0, 赤→2(べき乗  $10^2$ ), 金→誤差と読み取る。求め方は次ページ図 22 に示す。

赤	黒	赤	金
↓	↓	↓	↓
2	0	1 0 <sup>2</sup>	誤差 ± 5 %
$20 \times 10^2 = 2000 \Omega = 2 \text{ k } \Omega$			
誤差は、±5%なので、2 k Ω ±5%			
1. 95k Ω ~ 2. 05k Ω の範囲内に真値がある。			

図 22 カラーコードからの抵抗値算出

図 22 のように、1. 95 k Ω ~ 2. 05 k Ω の範囲内に正しい値があると説明している。これはあくまでも抵抗が持っている誤差である。一般的に電子工作などで用いられる抵抗は、正式にはカーボン(炭素)皮膜抵抗といい、炭素の粉末と樹脂を混合し、固化した抵抗であるが、精度が非常に悪く、精密な用途には適さない。誤差は、カーボン皮膜の膜厚、ムラ、芯材の断面積、長さなどで変動幅がある。テスタで測定した結果は 1. 925 k Ω であり、抵抗の誤差範囲内からは範囲外であることがわかる。これは、テスタの測定器としての誤差が加味されていることを意味する。

## B 抵抗回路設計と製作

A で確認をしたことを踏まえて、ブレッドボードを使って、回路図から回路をつくり、測定まで行う。想定していた回路を全て載せることが紙面の関係上できないので、ここでは抵抗を使った直列回路に電圧をかけて測定する内容を紹介します。演習課題の例を図 23 に示す。

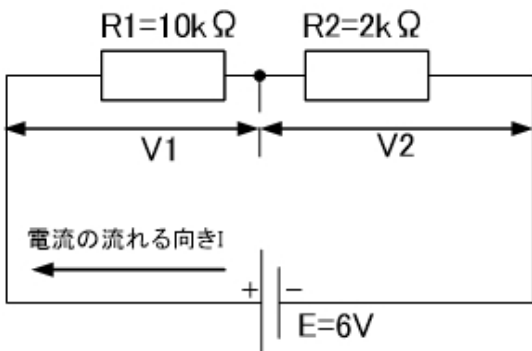


図 23 抵抗を用いた回路図(直列)

回路を組むうえで、電池の+から-に向かって1周するように回路を作ることである。

今回は 2 本の抵抗を接続するためには、ブレッドボード内部の接続をうまく利用することが大切である。

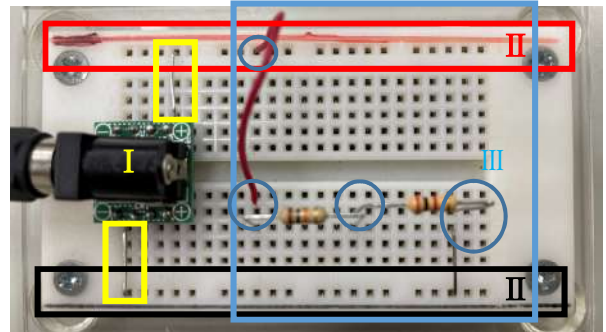


図 24 回路の組み方

(回路接続 図 24 中 I ~ III の手順)

- I まず、最初に「電源」コネクタをブレッドボードの中央部溝をまたぐように接続する。コネクタの上下両端に ⊕ ⊖ の記号表記がある。⊕ ⊖ 表記のすぐとなりのはんだ付けされた端子がそれに該当する。⊕ ⊖ を配線材やワイヤを使って、上下電源ライン(図中赤枠・黒枠)につなぐ。(図中黄色枠部分)
- II 上下電源ラインに接続すると、ブレッドボード裏側で横一直線に金属で接続されているので、横方向が全て ⊕ と接続されていることを意味する。
- III 図中青丸の部分が接続点である。⊕ から抵抗 R1 の片方と接続する。II ⊕ と接続済みなので、上電源ライン(赤枠)の部分であれば、どこから接続しても ⊕ と接続される。図では、赤いワイヤを使って、抵抗 R1 の片方と接続、もう一方は抵抗 R2 の片方と接続している。抵抗 R2 の片方は、下電源ライン(黒枠) ⊖ と接続し、これで 1 つの回路が完成である。

テスタによる電圧測定の様子を次ページ図 25 に示す。A 抵抗値測定の実験と同様に、抵抗の両端に赤リード線と黒リード線を接続する。今回は電圧を測定するので、テスタのレンジは「直流電圧, 20」に合わせ、電池ボックスの電源を ON にすると電圧値が表示される。「電圧 V ~」は交流電圧を測定する際に使用するレンジであるので、間違えないようにする。

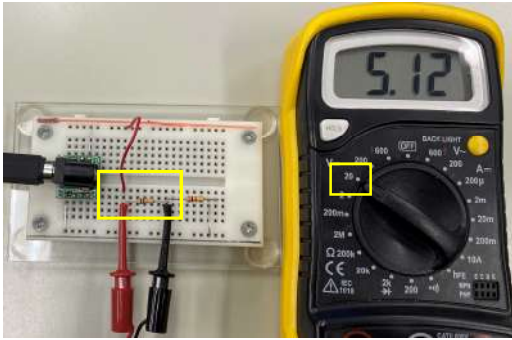


図 25 電圧測定

測定結果を表 3 に示す。表中の計算値は、オームの法則から求めた値である。実際の講座では、オームの法則を使った計算過程や考え方についても、説明や計算問題を行う。抵抗値、テスタともに誤差、ばらつきがあるので、計算値と同じにならないということ、抵抗値の大きさが  $R1 > R2$  なので、電圧のかかり方の比率も変わってくることに注目してもらいたいと考える。つまり、「直列接続では抵抗の大きさに比例して分圧される」ということである。

表 3 抵抗による直列回路電圧測定結果(電源 E=約 6.12V)

測定対象	測定値	※計算値
抵抗 $R1=10k\Omega$	$V1=5.12V$	$V1=5.00V$
抵抗 $R2=2k\Omega$	$V2=1.00V$	$V2=1.00V$

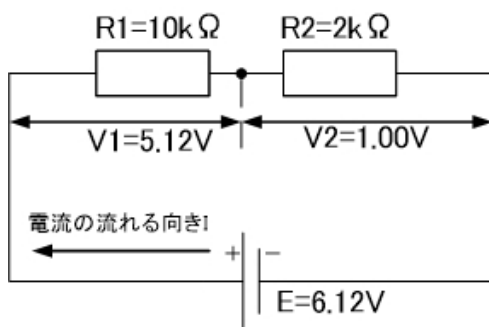


図 26 電源および各電圧の測定結果

(※計算値の求め方 オームの法則を活用)

直列の合成抵抗  $R$  は足し算になる(図 27)。

$$R = R1 + R2 = 10k + 2k = 12k\Omega$$

回路に流れる全体の電流  $I$

$$I = \frac{E}{R} = \frac{6}{12k} = 0.5mA$$

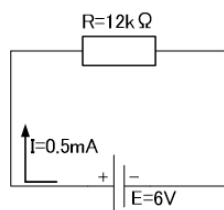


図 27 足し算した回路

直列回路に流れる電流は全て同じである。した

がって、抵抗を足す前の回路(図 26)の回路においても、同じ電流が流れることを意味する。

各抵抗に電流を掛けると、各電圧が求められる。

$$V1 = R1I = 10k \times 0.5m = 5V$$

$$V2 = R2I = 2k \times 0.5m = 1V$$

### C LED 点灯回路設計と製作

B で製作した流れを踏まえて、半導体である LED を点灯させるための回路を設計し、点灯および抵抗による明るさの制御を行う。LED を光らせるためには電流を流せば良いが、流れる方向があるので、極性を考慮して回路を作る必要がある。また、LED に直接電源を接続すると、過大電流が流れるため LED の破壊につながる。そのため、電流を制限するために抵抗を入れて調整することを確かめる実験を紹介する。

LED だけの話ではないが、電子部品を扱うときにはどこまで電圧を加えてよいか、どのくらいまで電流が流れるか、定格値を確認する必要がある。図 28 は赤色 LED の定格・説明である。



Vf: 順方向電圧 1.9V~2.4V

LED の動作電圧範囲

15deg: 指向特性, 発光範囲 15°

1500mcd@20mA: 明るさの単位

1500mcd で発光させるには LED に 20mA の電流が必要

If: 順方向電流 (max) 30mA

LED の最大定格 30mA

Color: RED 赤色の LED

WD: 波長の長さ 640nm

LED の化合物(Ga, In, Al, P など)の違いで発色が異なる

450nm 前後: 青

520nm 前後: 緑

660nm 前後: 赤

図 28 赤 LED 定格値例および説明



LED の定格値を考慮したうえで、抵抗 R をつけた回路図を図 29 に示す。

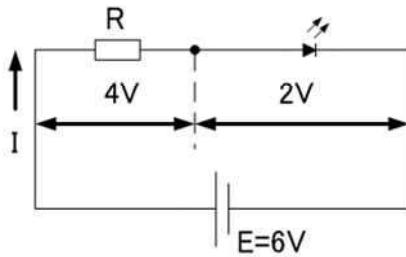


図 29 LED 点灯回路

今回の実験で使った LED は緑色の LED である。緑色 LED 動作電圧が約 2.1V である。計算しやすいように、LED に加える電圧を 2V とした。全体の電圧が 6V であるので、抵抗には 4V かかるように、次に示す式を使って、抵抗を求めればよいことになる。LED に流れる電流値は、定格 30mA を超えないようにすることと、とりあえず発光させるには、10~20mA 程度である。

(電流  $I=20\text{mA}$  流すことを想定 定格範囲)

$$R = \frac{E - V_d}{I} = \frac{6 - 2}{20\text{m}} = 200\Omega$$

計算結果から、 $200\Omega$  の抵抗を入れればよいことになる。しかし、電流をたくさん流してしまうと、電源である乾電池の持続性が悪くなってしまう。また、集積回路を使って、マイコンで制御しようとする、回路全体が過小電圧になり、動作しなくなる。そのため、抵抗値を大きくして、電圧や電流消費を抑えることも考えておかなければならない。次の式は、電流を先ほどの  $1/10$  に減らして計算した。

(電流  $I=2\text{mA}$  流すことを想定 定格範囲以下)

$$R = \frac{E - V_d}{I} = \frac{6 - 2}{2\text{m}} = 2\text{k}\Omega$$

計算結果から、 $2\text{k}\Omega$  の抵抗を入れればよいことになる。定格値を超えてしまうのは部品の破壊になるが、定格値以下にするのは、回路が複雑になっていくうえでは考えなければいけない。

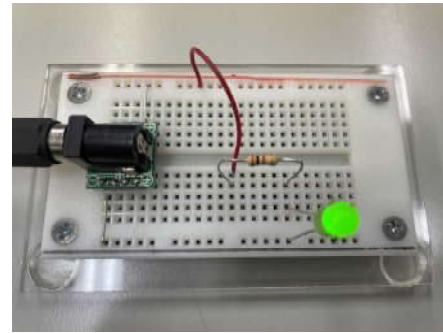


図 30 LED 点灯回路 (抵抗  $2\text{k}\Omega$  で設計)

半導体は最低限の電圧をかけないと動作しない。半導体の代表的な材料であるシリコンの場合、電圧が  $0.6\text{V}$  以下であると、半導体内部の抵抗値が異常に高く、半導体内部の電子の動きが不活発となり、結果として電流は流れず、発光しないことに注意しなければならない。

LED を明るくしたければ、抵抗値を減らし、暗くしたければ、抵抗値を増やすこと、定格値を見ることがポイントとなっている。

### イ スイッチによる LED 点灯制御

ここでは、A-C の回路にスイッチをつけて、点灯制御を紹介する。図 31 のタクトスイッチを用いる。

タクトスイッチは 4 本のリード線 (端子) が出ているが、図の様に足が出ている側面の方向同士 (3 と 4) がボタンを押した場合につながる。押ししていない状態では (1 と 3) (2 と 4) 同士がつながる。

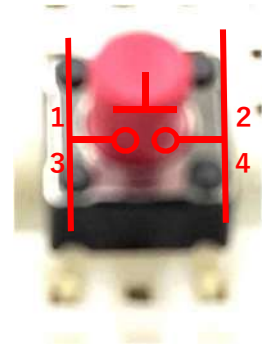


図 31 タクトスイッチ

(1 と 2) または (3 と 4) はつながっていない。早い話押したら全て (1, 2, 3, 4) つながる。通常は、(1 と 2) か (3 と 4) に配線する。

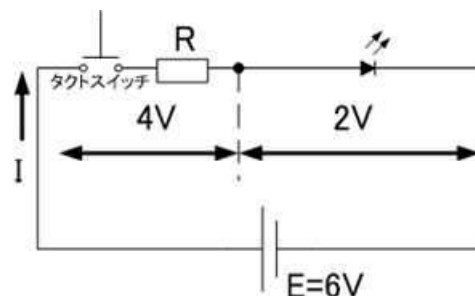


図 32 スイッチによる LED 点灯回路 ( $R=2\text{k}\Omega$  で設計)

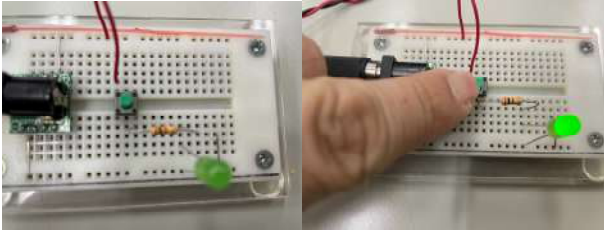


図 33 スイッチによる LED 点灯回路(左：消灯 右：点灯)

左の写真は、スイッチを接続し、スイッチの左側に電源ライン、右側に抵抗を接続している。ボタンを押す前は中の接点が開いており、点灯しない。右の写真はボタンを押すと全接点が接触し、導通状態となり点灯する。この回路がスイッチ制御の基本である。

## ウ マイコンの取り扱い

### (7) 概要

私たちの生活する現代は、多くの家電製品や携帯電話・スマートフォン等にもマイコンが組み込まれ、コンピュータを意識することなく誰にでも取り扱うことのできるユビキタス・コンピューティングの時代である。その時代の流れは、加速度的に進んでおり、家電製品を直接インターネットに接続し制御することができる IoT(Internet of Things:モノのインターネット)が一般家庭においても普及し始めている。当館の常設展示でも、様々な形状のコンピュータが展示されている。仕組みなど詳しく解説されているが、コンピュータの仕組みや制御方法、制御するための手順(プログラム)などを実際に体験することがより理解を深めると考える。今回紹介するのは、集積回路によるマイコンや集積回路がワンボードに組み込まれているマイコン実験ボード(以下「アルディーノ」と表記)を使って一から回路を作り、プログラムを書きこんで、動作させる一連の動きを体感することである。



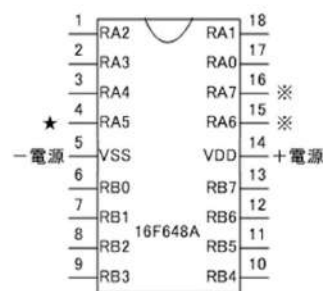
図 34 マイコンコンピュータ 図 35 マイコン実験ボード

## (イ) PIC

マイクロチップ・テクノロジー社の PIC は、コンピュータの機能や集積回路のピンの数、制御プログラムなどを記憶できる情報量によって、種類が多岐にわたっている。PIC を使って、どのような対象を制御するか、作成するプログラムを記憶するのにどのくらいの記憶容量が必要か、考慮しなければならない。入門用でよく使用される PIC は「PIC16F84A」であるが、回路を作るのに部品が別途必要であるので、その機能が PIC に含まれている「PIC16F648A」を使って、実験を行うこととする。

今回使用する PIC の集積回路ピンの機能および電源を以下図 36 に示す。

PIC16F648Aのピン配置・・・動かすための最低ライン



※クロックパルス・・・PICが命令を実行するための基準(例:音が4回鳴ると命令を1回実行)  
★リセット端子・・・0(Low)を入力するとリセット実行 1(High)を入力するとプログラム実行

図 36 PIC16F648A ピン配置および電源等

PIC を動かすためには、電源が必要であり、図中の 14 ピンに+、5 ピンに-を接続する。クロックパルスは、各部が同期するための信号であり、この周波数の高低がマイコンの処理速度の高低となる(図 36 中※)。通常は外部に発生装置を接続するが、今回のマイコンは集積回路にその機能が内蔵されている。★印はリセット端子接続ピンである。リセットは、マイコンが暴走した時に、それを回避するために行う。今回は複雑な処理をさせる訳ではないので、接続しない。残りのピンについては、制御対象を接続する。制御対象の例として、スイッチ、LED、スピーカ、モータなどである。PIC を使った制御回路は次節で紹介する。

## エ PICとプログラム

LED3 個(赤・緑・青)を PIC 制御によって、自動的に交互に点滅させる回路を例に実験を行う。図 37 の回路をベースに紹介する。

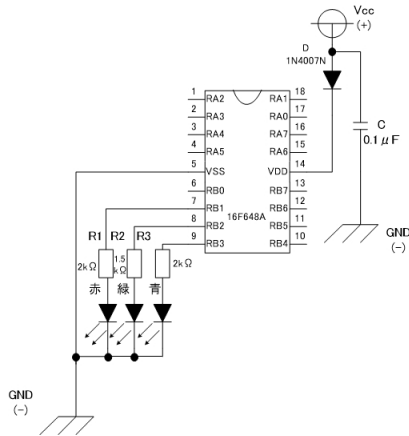


図 37 PIC で 3 つの LED を制御

この回路は、電源を入れると、赤、緑、青と LED が自動的に点灯していく回路である。中央にある集積回路「16F648A」が PIC である。

回路図にしたがって組み込んだ回路を図 38 のようにブレッドボードに組み込む。回路の製作手順～プログラムの作成および PIC への書き込み手順については、本報告巻末資料に詳細を示す。ここでは実行結果を紹介する。

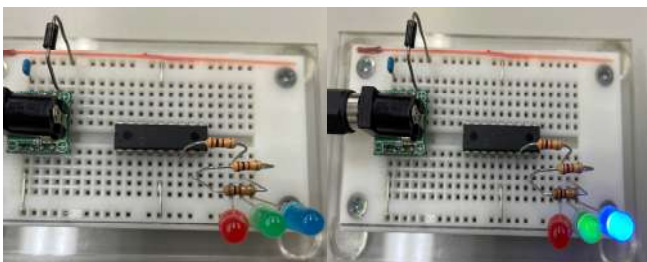


図 38 PIC による回路製作(右：プログラム実行)

今回使用した PIC16F648A の仕様について、以下の表 4 に示す。

表 4 PIC16F648A の仕様

項目	性能
①プログラムメモリ	4,096word
②RAM	256byte
③EEPROM	256byte
④I/O ピン	16 本
⑤クロック周波数	内蔵 4MHz
⑥電源電圧	3.0V (10MHzMAX) ~ 5.5V (20MHzMAZ)
⑦パッケージ	DIP18
主な機能	GPIO, コンパレータ PWM, USART, タイマ等

当館の常設展示では、集積回路の中にどのくらいの文字が入るかという展示がある。今回のマイコンの性能を意識しながら、回路設計、プログラム作成、書き込み作業などを通じて理解を深めることも可能である。

表 4 の上から順に、①プログラムできる記憶容量、②読み書きできる記憶容量、③マイコン設定情報の記憶容量(電源切っても情報保持)、④マイコンに接続できる制御対象(LED, スピーカ, モータ, スイッチなど)の本数、⑤コンピュータの処理速度、⑥動作電圧(電圧によって処理速度が変わる)、⑦IC の実装形式(数字はピン数)である。

図 37 の回路であるが、3 個の LED を赤→緑→青の順に点灯するプログラムを図 39 に示す。使用言語は C 言語である。また、保存したプログラムのファイル容量を図 40 に示す。

```
#include<16f648a.h>
#use delay(CLOCK = 4000000)
#byte port_a=5
#byte port_b=6
int main(void)
{
    set_tris_a(0x00);
    set_tris_b(0x00);
    while(1)
    {
        port_b=0b00000010; /* 赤 */
        delay_ms(500);
        port_b=0b00000100; /* 緑 */
        delay_ms(500);
        port_b=0b00001000; /* 青 */
        delay_ms(500);
    }
}
```

図 39 図 37 の回路を制御するプログラム

○C ファイル 289 byte  
(人間が書いたプログラム 図 39)  
○HEX(ヘキサ)ファイル 456 byte  
(C ファイルを機械語に変換)

図 40 図 39 で作成したプログラムの容量

byte は文字やファイルデータサイズでよく使用されている。bit で表現するときは、コンピュータの処理能力やマイコン制御で LED を 1 個点灯・消灯 (=1bit) で用いられている。1byte=8bit と定義されているので、1つのアドレス空間に格納できる単位を新たに 1word と定義した。コンピュータの「頭脳」に相当する中央処理演算装置 (CPU: Central Processing Unit) により、情報量の定義は前後するが、通常 1word=16bit=2byte と定められている。1byte は半角文字 1 字、2byte は全角文字 (漢字など) 1 字に相当する。今回使用している PIC の仕様を表 4 に示している。①のプログラムを記憶出来る容量は 4,096word である。1word あたり 2byte であるので、半角文字 2,048 文字格納できる。プログラムは半角文字で作成する。②③のメモリのサイズは、256byte であるので、半角文字 256 文字格納できる。図 39 は、人間が書いたプログラムで、20 行弱である。その容量は、289byte (全メモリ 4,096byte) である。

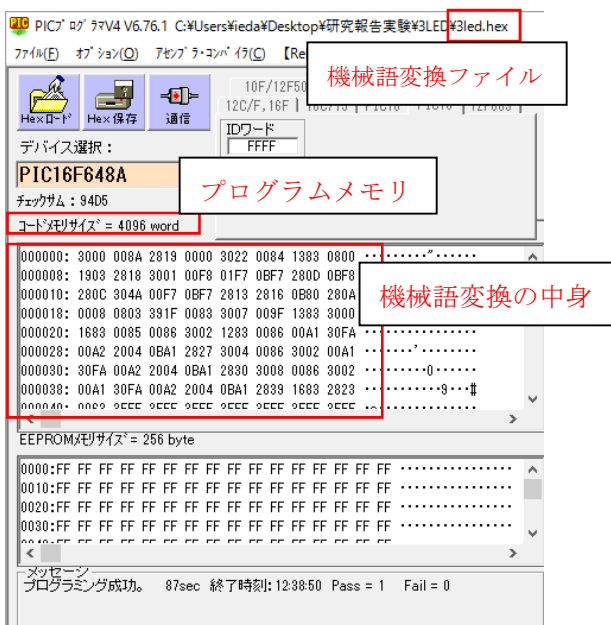


図 41 PIC に書き込んだ結果画面

人間が書いたプログラムは、マイコンは直接理解できないため、プログラムを変換する必要がある。変換すると、コードの羅列に変換されるため、文字数が増える (図 41)。そのため、ファイルサイズも 456byte に増えている。

## オ LED を PIC で制御

### (7) LED パーサライタ

常設展示において、「複合材料」のカテゴリがある。図 6 で紹介した LED 発光について、回転装置を使って回転させ、文字が見えるといった展示である。これは電光掲示板の仕組みである。通常、電光掲示板は文字表示や文字を流して表示することがあるが、表示される分の LED を用意しなければならない。百個、千個単位である。簡易的に学習するためには現実的ではない。そこで、縦 1 列の LED (紹介する回路は 12 個) に PIC からプログラムを使って文字を流し込むことができる。縦 1 列に並んだ LED を左右に振る、回転させるなどしながら、あるパターンで点滅させることで、文字や図形を表示させることができる。表示させたい文字や図形は、プログラムで作成可能である。PIC は、内部では 0, 1 の数 (これを 2 進数という) で判断しているため、LED を点灯させたい場合は「1」、消灯させたい場合は「0」をプログラムで記述する (図 42)。



図 42 「2」を表示するポイント 図 43 基板を左右に振る

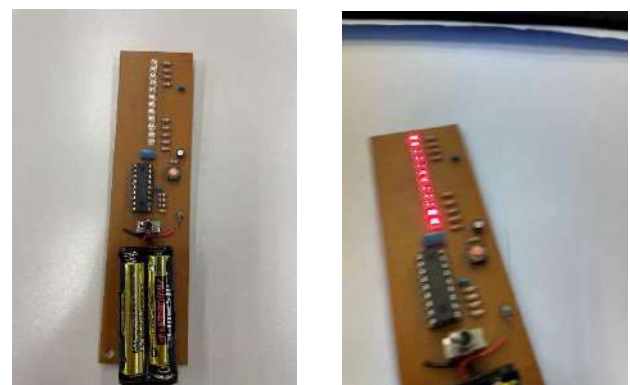


図 44 パーサライタ基板 図 45 動作している様子

図 45 の動作している様子は、基板を左右に振っている状態であるが、文字が表示されている場面を撮影するのが困難である。LED が全部点灯し、次々に文字が流れてくるので、点灯させる文字により、LED の輝度が均一でないことが確認できる。

#### (イ) 多機能タイマ

多機能タイマは、16通りのダイヤルスイッチによって、LED8個、スピーカをPICで制御することができる。スイッチを回すことで、前節(ア)で紹介したバーサイタやキッチンタイマ、スイッチの入力数字に従ってLEDが点灯するなどの機能がある。また、ドレミファソラシド等の音階をプログラムで作成し、スピーカから音が鳴る仕組みになっている。自分で楽譜を用意し、プログラム上で音楽を作成することも可能である。

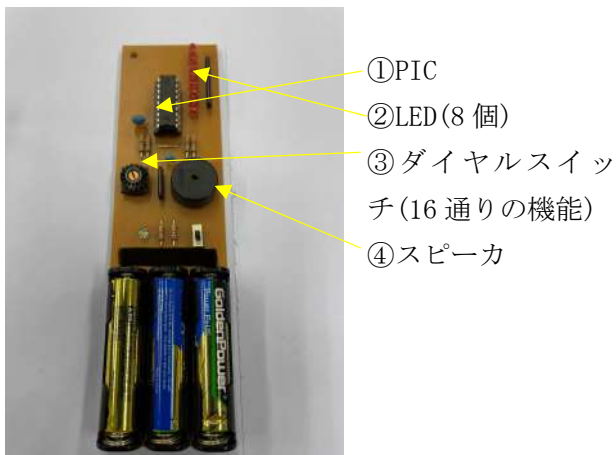


図 46 多機能タイマ基板

#### (ウ) 7セグメントLED

この回路はブレッドボードで、一から実装した回路である。7セグメントLEDと呼ばれる電子部品で、前述のLEDが7個のセグメント(境界)に入っており、LEDの発光によって、任意の数字を作ることができる。図47は、2個の7セグメントLEDが左から順に偶数(02→24→46→...)の数字が流れていく様子の回路である。7セグメントLEDの制御は、参考文献(私の授業レシピ)に詳細を示す。

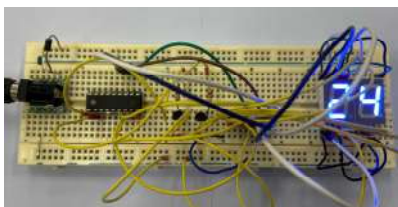


図 47 7セグメントLED 2桁制御

#### カ 接触スイッチ制御およびその他

スイッチによる制御は、LED点灯回路の部分で紹介したが、プログラムを使用していない。スイッチのON, OFFでLEDの点灯制御を行っていた。ここでは、PICにプログラムを書きこんだうえで、

フルカラーLED色について、各ボタンを押すことによって発光させることが可能である。光の加減を微調整することも可能である。オリジナルのPICプログラミングボードでフルカラーLEDのみならず、様々な電子回路・電子部品を制御することができる。PICプログラミングボードは、参考文献(教科研究員研究報告書)に詳細を示す。

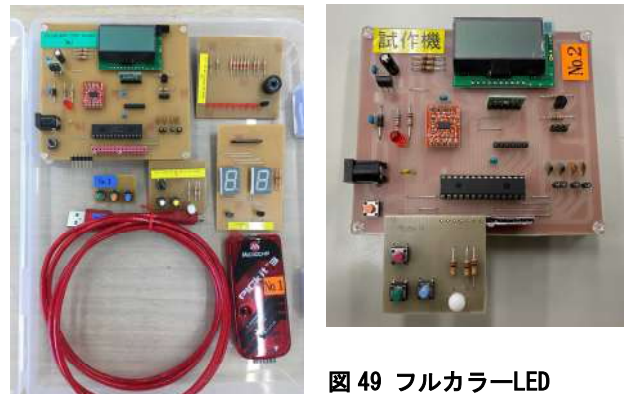


図 48 PICプログラミング  
ボード

図 49 フルカラーLED  
スイッチ制御

#### キ 非接触によるスイッチ制御

##### (ア) ワンボードマイコンについて

図35で紹介したが、集積回路を実装したボードが様々な種類で開発されている。ワンボードマイコンは、PICと異なり、集積回路周辺の最低限必要な回路は製作されている。そのため、制御対象の電子部品をブレッドボード等のワイヤで抜き差しするだけで動作確認できる。また、プログラム(アルディーノでは「スケッチ」と呼んでいる)もサンプルのものやライブラリが用意されており、初心者にもなじみやすいといえる。電源についても、コンピュータからUSBケーブル経由で給電でき、回路に供給する電源も5V, 3.3Vと複数とることができる。近年、電子部品が小型化する中で、消費電圧も3.3V駆動の部品が増えてきている。電子部品で電源回路を製作し、電圧を落として使用することも可能であるが、回路設計の知識が必須となる。しかし、PICと違って、ワンボードの形は変えることはできないので、小さな箱等に格納するのが難しく、そこは制約があるが、USBメモリ形のワンボードマイコンも存在する。

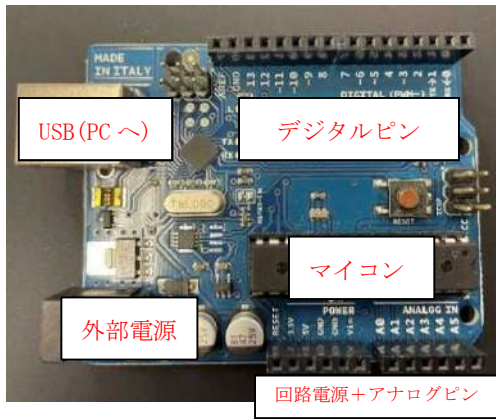


図 50 アルディーノ ワンボードマイコン

ここでの実験は、「先端技術への招待」に展示してあるセンサを理解すること、コロナ禍における接触感染を減らすための非接触制御によるセンサを用いたスイッチ制御の仕組みについて紹介する。

### (イ) センサを使った制御

#### A 反射型フォトセンサについて

公共の場では、自動的に水が流れるトイレ、人が通ると光るライトなどの人感センサはなじみが深いといえる。センサにも種類が多数あるが、非接触による展示スイッチという観点で検討したときに、展示場の照度(光)、接触スイッチの設備・環境を変えずに設置することを考えると、赤外線を使った反射型のタイプが適切である。このタイプは、白線に沿って走る車(ラインレースカーという)の制御においても、白線を読み取る「目」として、工業高校の実験実習でもよく用いられている。

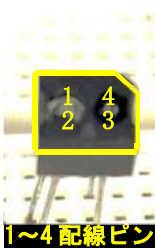


図 51 実物



図 52 反射型フォトセンサの仕組み

図 51 が反射型フォトセンサ(フォトリフレクタ, RPR-220 以下「センサ」と表記)の部品写真である。片方が赤外線を放つ LED, 片方が赤外線を光の反射によって、光を受け取るフォトトランジスタで構成されている。この反射光の強弱によって、スイッチが ON になるか、OFF になるか、挙動が変わってくる。

#### B センサの動作実験

アルディーノを使用して、図 53 の回路図をもとにセンサの動作を確認する。

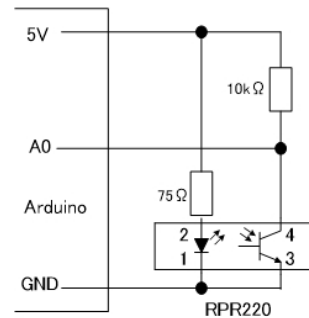


図 53 センサ動作確認回路図

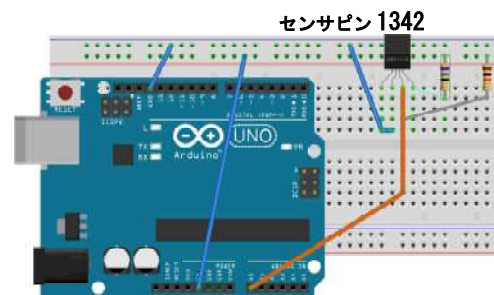


図 54 配線イメージ



図 55 実際の回路製作写真

図 53 の回路図の配線イメージおよび回路製作写真を図 54, 55 に示す。図 53 回路図左側の「Arduino」と表記されている部分はワンボードマイコンである。5V(+), GND(-)は電源, A0 はアナログの 0 番目のピンという意味である。A0 には赤外線の光を読み取ったセンサを接続するため、手や物体でセンサを遮った時の物理量はアナログ量であるため、アナログピンを使用する。

プログラムは、アルディーノの制御ソフトウェア(図 59)を使用する。手でセンサを遮った時のモニタリング結果を図 56~58 に示す。プログラムは、サンプルスケッチ(AnalogReadSerial, 図 59)を利用し、リアルタイムにセンサの状態をモニタリングする。

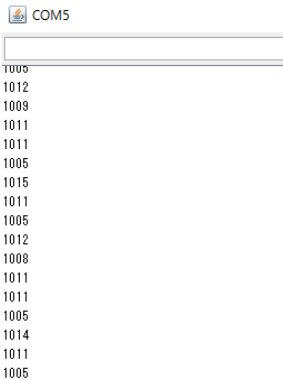


図 56 手をかざさない状態

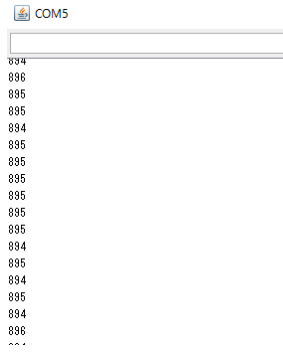


図 57 かざした状態

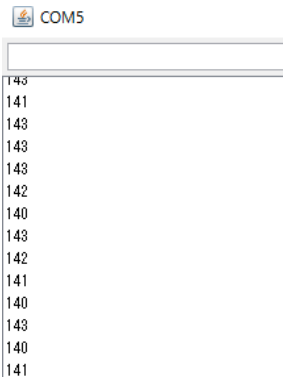


図 58 手で覆った状態



図 59 サンプルプログラム

図 56 は、センサに手をかざさない状態である。通常時は 1000 を超えた程度で変化する。図 57 はセンサに手をかざした状態、800~900 ぐらいで変化する。図 58 は、センサを完全に手で覆うと、光が完全に遮られるため、100 前後まで数値が落ちる。センサの状態をモニタリングするサンプルプログラムは図 59 である。プログラムの知識がなくても、サンプルプログラムを修正し、電子部品の動きがどのように変化するかを学習することも可能である。また、アルディーノは Web 上に豊富なマニュアルが存在し、書籍が多数出版されているため、理解を深める材料が多いといえる。

### (ウ) 非接触によるスイッチ制御

(イ)の回路をベースに、アルディーノを使用して、センサに手をかざすと、3 個の LED が数秒間明るく発光する回路(図 60)を紹介する。LED の明るい発光を展示物の動作に見立てている。

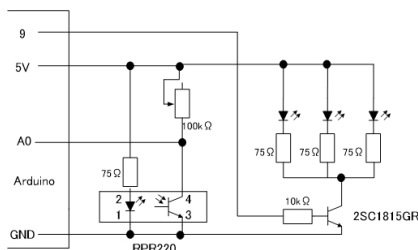


図 60 非接触によるスイッチ制御

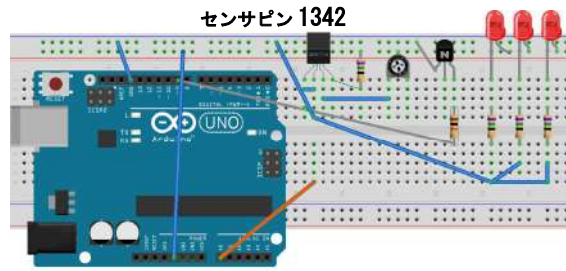


図 61 配線イメージ

回路中の 2SC1815GR はトランジスタであり、LED の明るさを電流増幅するための素子である。100kΩ は、可変抵抗器に変更し、センサの感度を調整することができる。図 61 は配線イメージである。

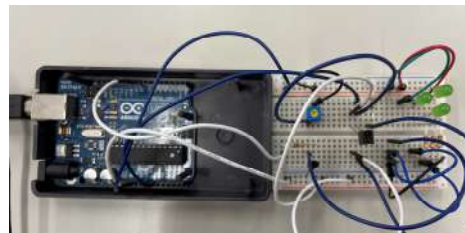


図 62 実際の回路製作写真(センサ入力待機)

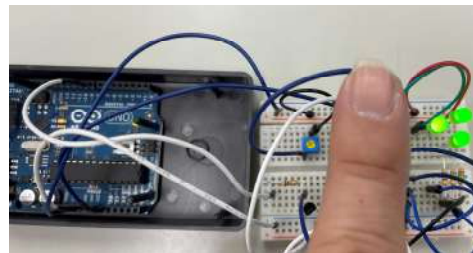


図 63 センサに手をかざしている状態

プログラムでは、まずセンサに手をかざしたときの物理量をアナログ値として読み取る。アナログ値は、条件式(例:アナログ値 500 以下)を満たせば、LED を明るく 2 秒間発光させる。マイコンは、手をかざしたときの物理量をアナログ値では判断できないので、デジタル値に変換(AD 変換という)する必要があるが、プログラムの記述によって実現可能である。機能としては、非接触スイッチとして動作しているが、具体的に何を制御するかを念頭に検討する材料になったと考える。

## 5 おわりに

半導体の仕組みは目に見えない現象が多くあり、実際に回路を組んで現象を理解することが大切であると考えられる。特に集積回路は「抵抗、トランジスタなど機能がすでに含まれているもの」であり、本来は複雑な回路を一から作らなければい

けないところを小型化したものであるが、展示してあるものはすでに完成しており、「体験」として、内部の仕組みを紐解くのは難しい。解説パネルや映像などで仕組みを理解することが基本であるが、ブレッドボードを使って、集積回路にパッケージ化される前の回路の組み立ての基本を学ぶこと、実体験を伴うことでより理解が深められると考える。また、集積回路は、ワンチップのマイコンとして、一から回路を設計し、プログラムを書きこんで一連のコンピュータ制御についても触れることができた。今回は身近な電子部品の制御が中心であったが、より常設展示の内容に近づける学習内容を検討することが必要であると考え

#### 参考文献・URL

- 「常設展示解説書」千葉県立現代産業科学館(1994)
- 「テスタ・ブレッドボードの使い方」「多機能タイマ製作実習」千葉県立京葉工業高等学校 電子工業科(2014)
- 後閑哲也「C言語によるPICプログラミング入門」技術評論社(2002)
- 後閑哲也「C言語によるPICプログラミング大全」技術評論社(2018)
- 平原真「実践 Arduino!－電子工作でアイデアを形にしよう－」オーム社(2017)
- Arduino ソフトウェア ダウンロードサイト  
<https://www.arduino.cc>
- 家田隆「PIC マイコン入出力設計・制御」私の授業レシピ, 千葉県教育委員会(2019)  
[https://ap.ice.or.jp/\\_wakaba2013/\\_docs/2019/w19-0073/w19-0073.pdf](https://ap.ice.or.jp/_wakaba2013/_docs/2019/w19-0073/w19-0073.pdf)(千葉県総合教育センターWeb)
- 家田隆「PIC マイコン制御ボード製作と授業に関する研究」教科研究員研究報告書, 千葉県教育委員会(2020)  
[https://ap.ice.or.jp/\\_wakaba2013/\\_docs/2019/w19-0390/w19-0390.pdf](https://ap.ice.or.jp/_wakaba2013/_docs/2019/w19-0390/w19-0390.pdf)(千葉県総合教育センターWeb)



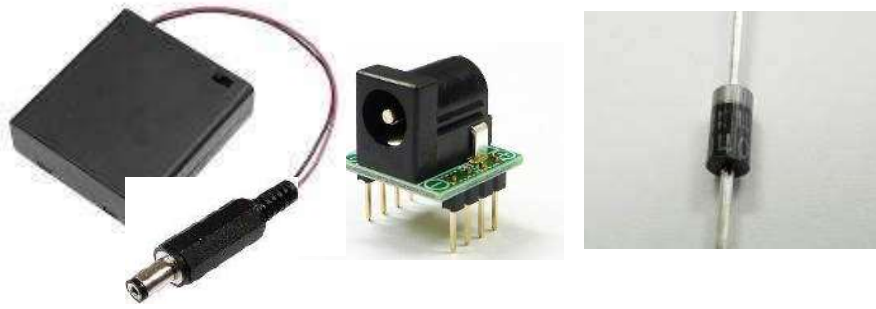
# 巻末資料

## 補足資料1

### 回路図～回路製作までの流れ

# 回路図と使用電子部品の確認

- ①電池BOX・ブレッドボード電源 ②整流ダイオード



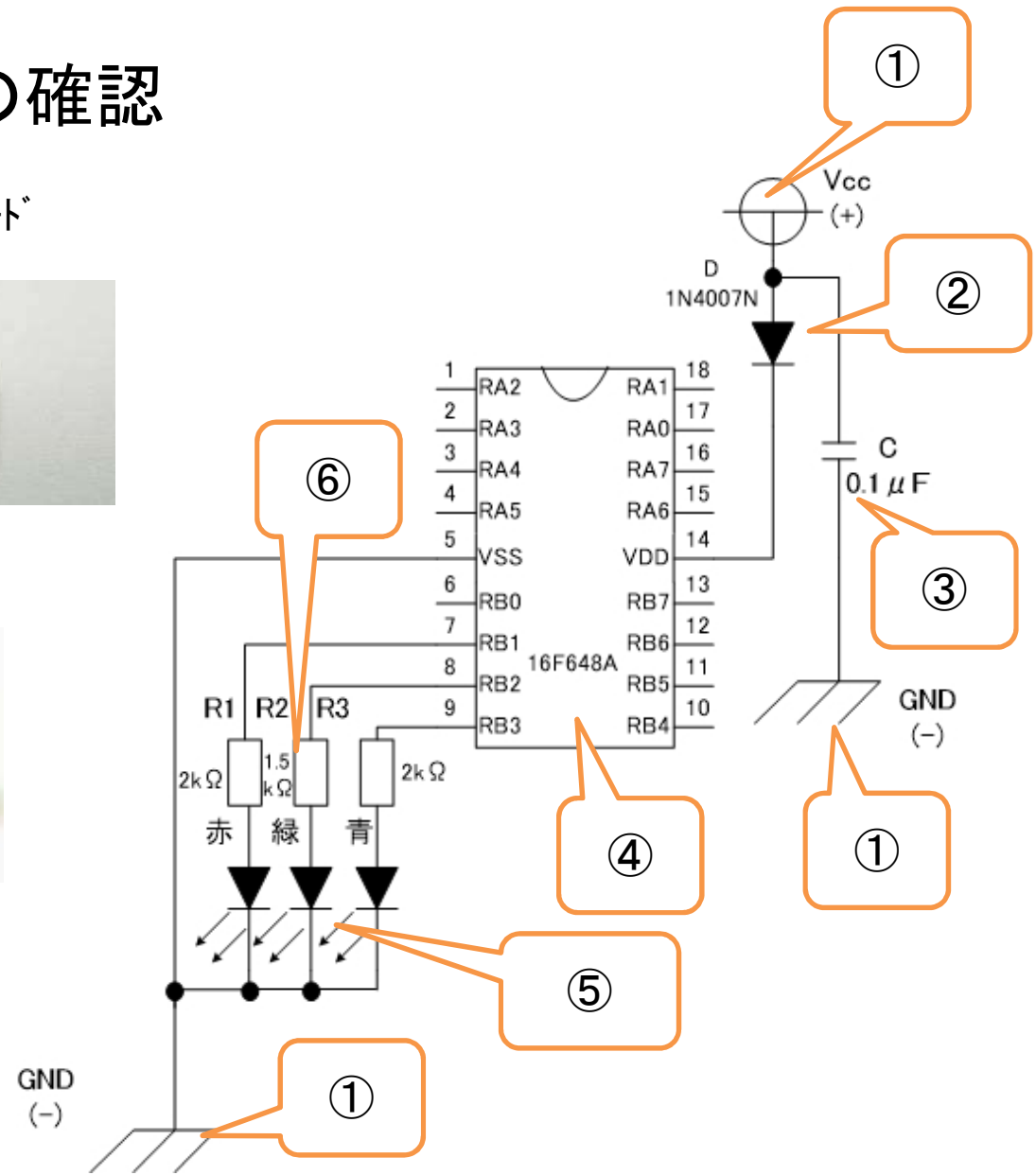
- ③積層セラミックコンデンサ ④PIC16F648A



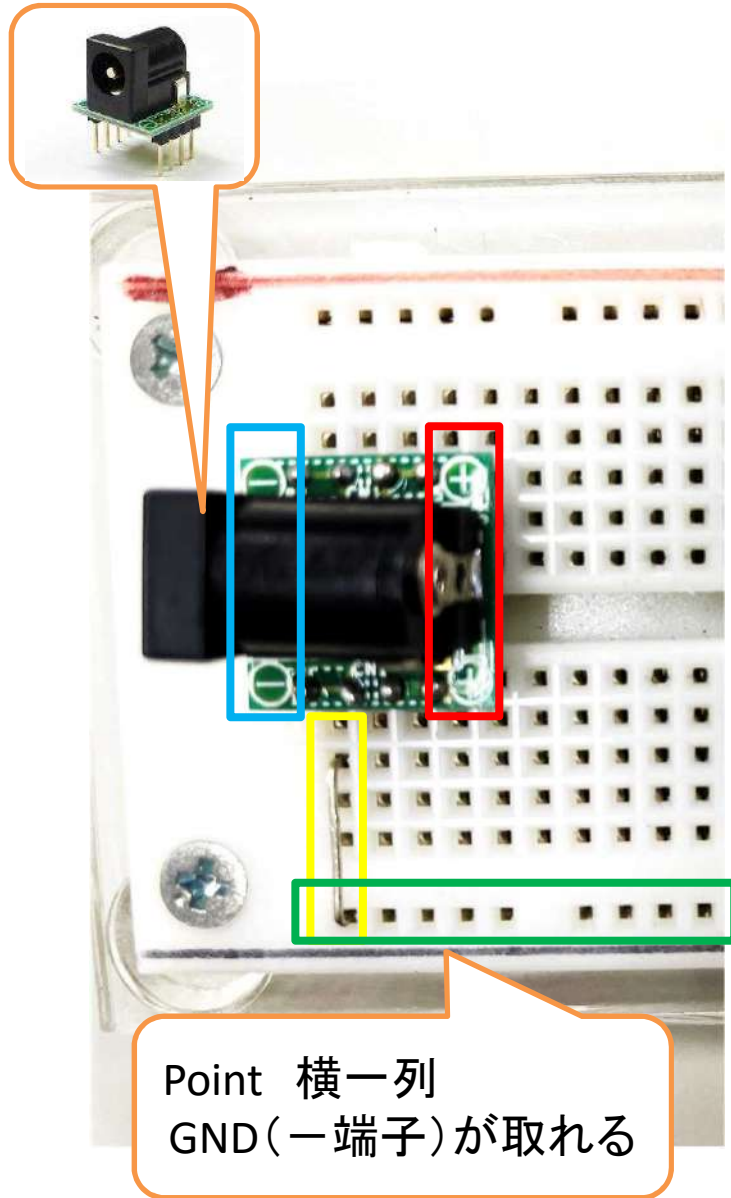
⑥LED保護抵抗



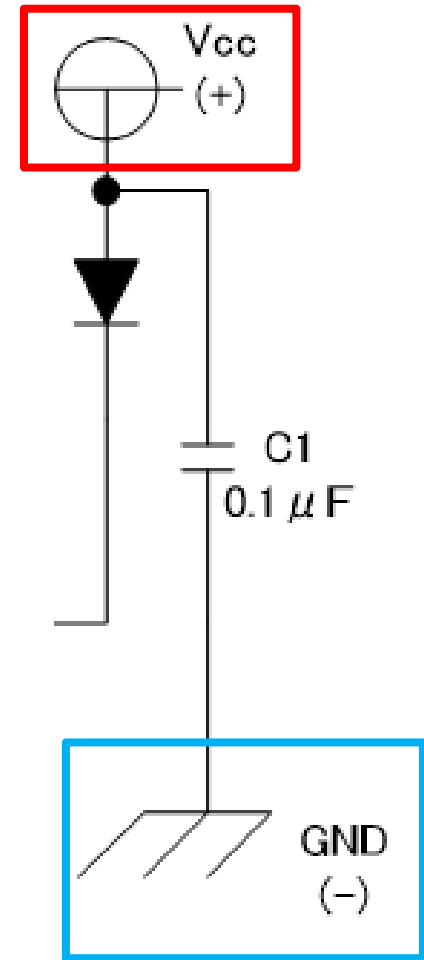
⑤赤緑青発光ダイオード(LED)



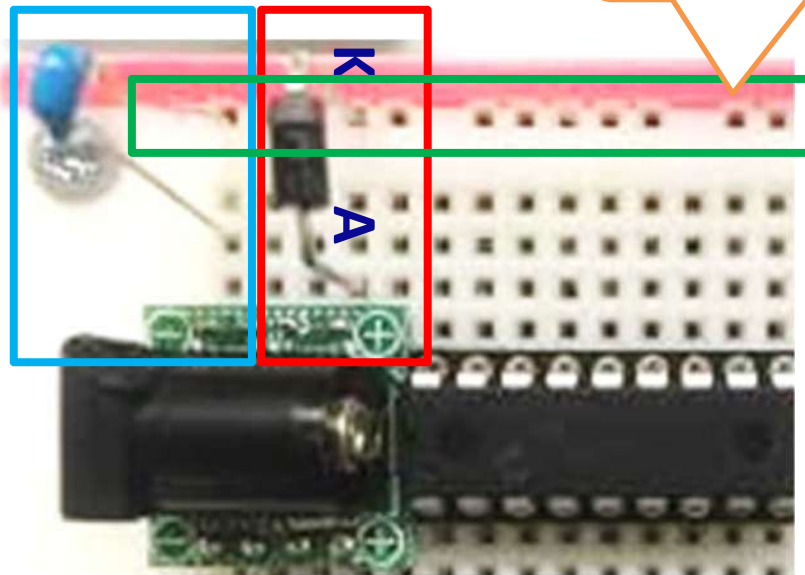
# 電源周辺を製作



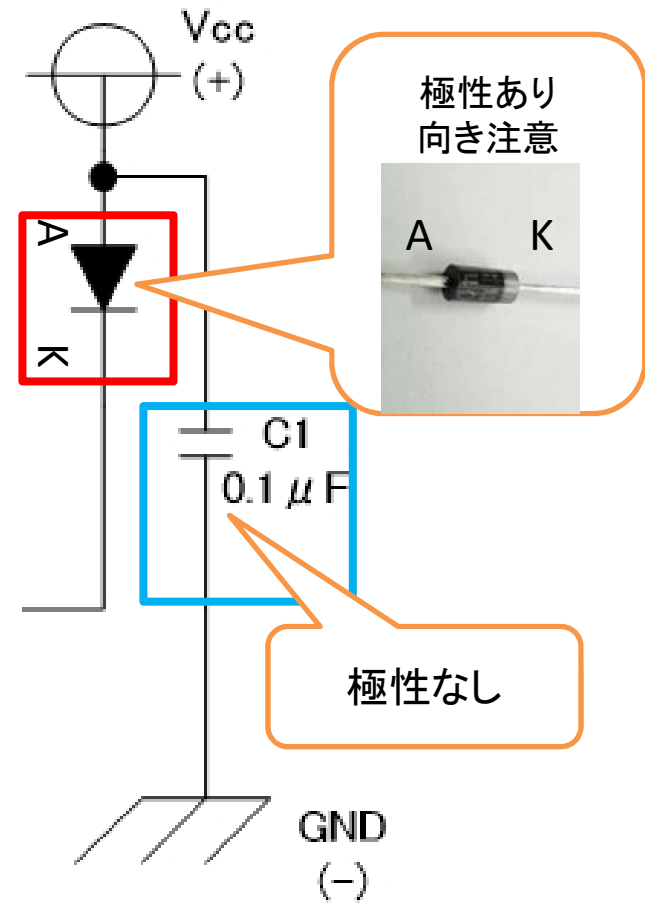
- ① ブレッドボード用電源の基板上両脇に+-の表記脇のピンが電源である。  
**+赤枠部分** **-青枠部分**
- ② ブレッドボードに電源の+と-を接続する。線でもよいが、抵抗の余った足など(写真は抵抗の足をピンにして使用)  
**黄枠部分**のように接続すると、裏側で金属でつながっているので、**緑枠部分**のように横方向に-電源をとることができる。



# 電源周辺を製作



Point 横一列  
VCC(+端子)が取れる

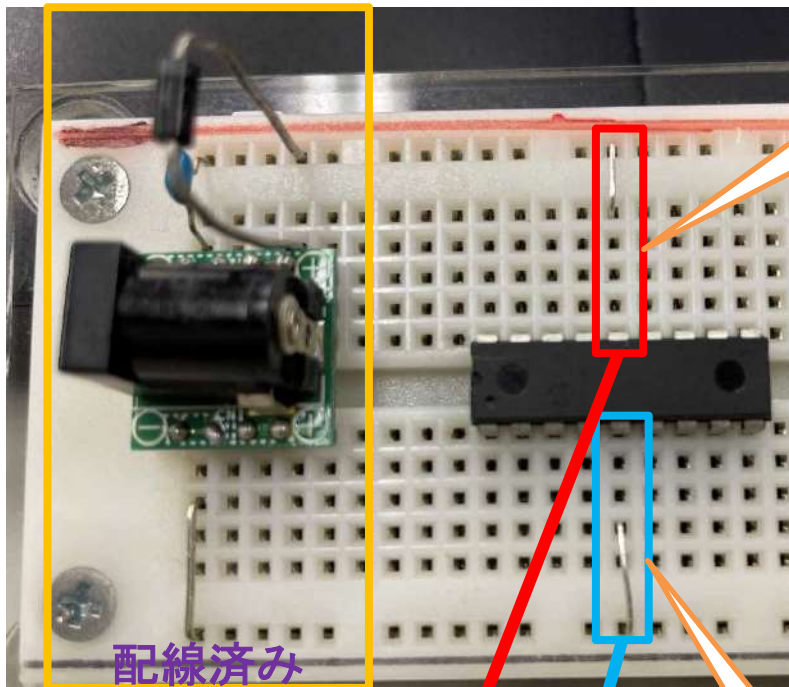


同じ「列」になっているか？  
ダイオード→+と同じ列  
コンデンサ→-と同じ列

**赤枠 整流ダイオード 向き注意**  
PICに供給する電圧を適切な  
値に下げる役割

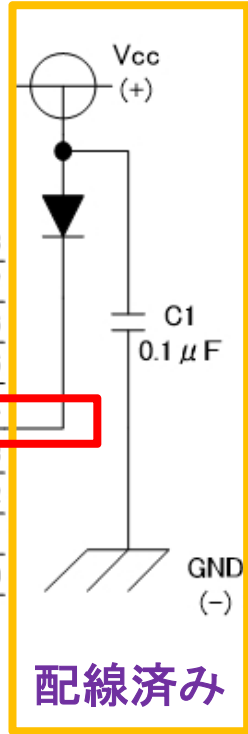
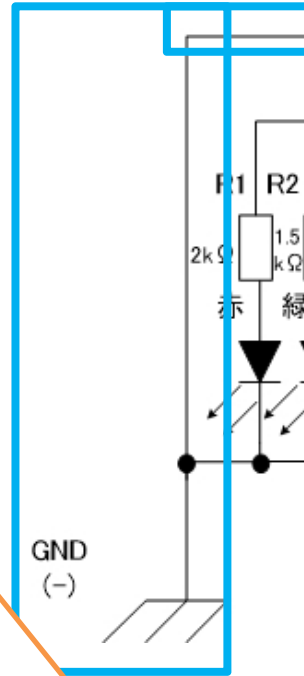
**青枠 コンデンサ**  
充放電機能＝電圧を安定させる役割

# PIC・電源周り



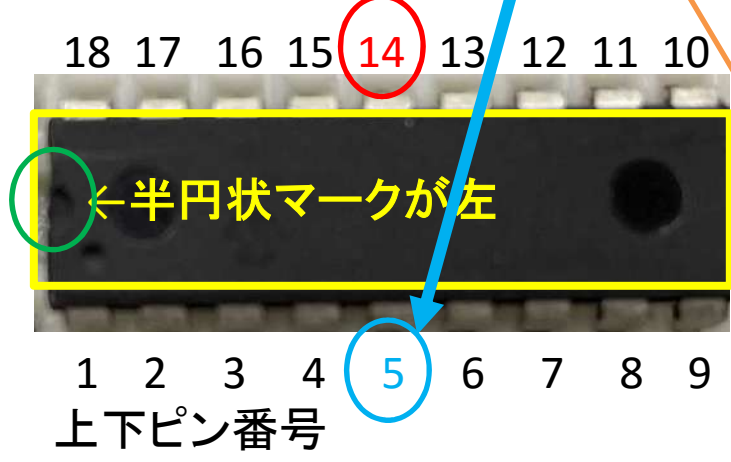
Point  
VCC(+)電源

Point  
GND(-)電源



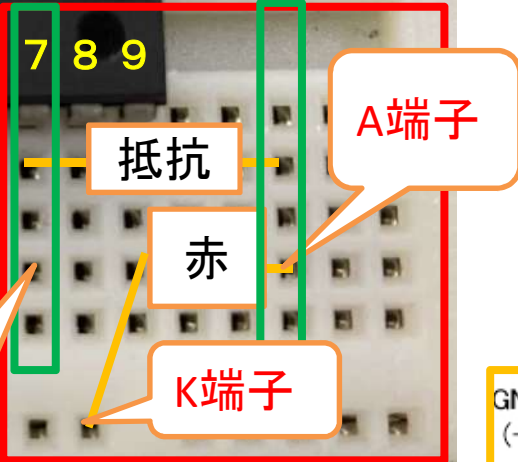
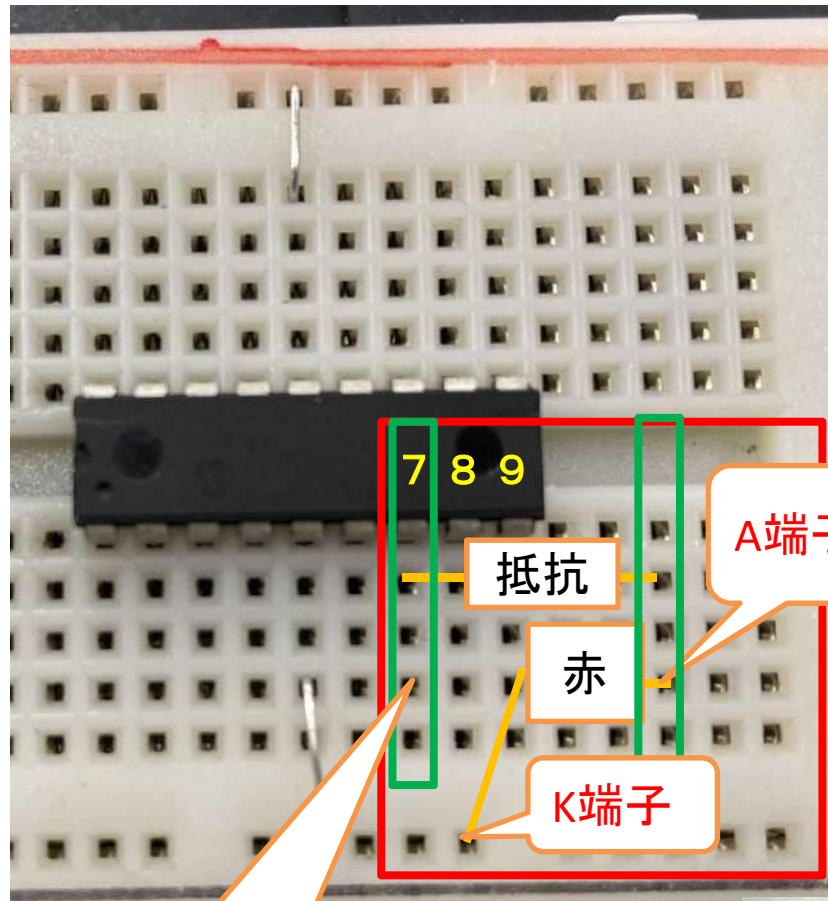
配線済み

PIC上の半円マーク基準  
ピン番号確認



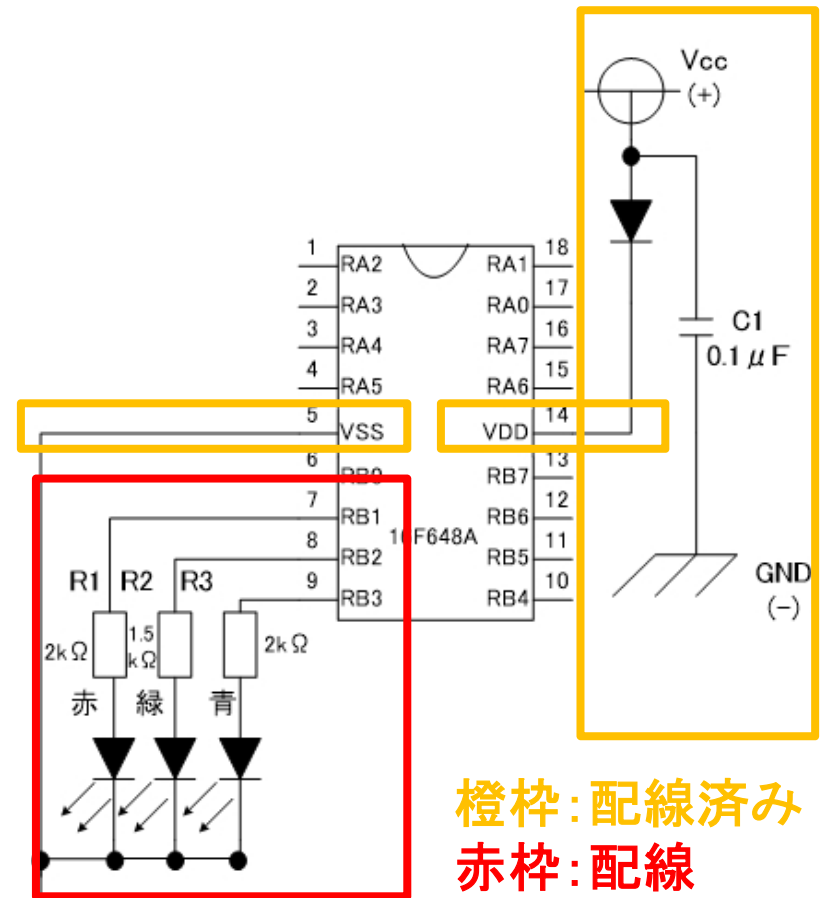
上下ピン番号

# 配線例 赤LED接続



Point  
緑枠 縦1列裏面  
でつながっている  
7番ピンと抵抗は  
接続状態

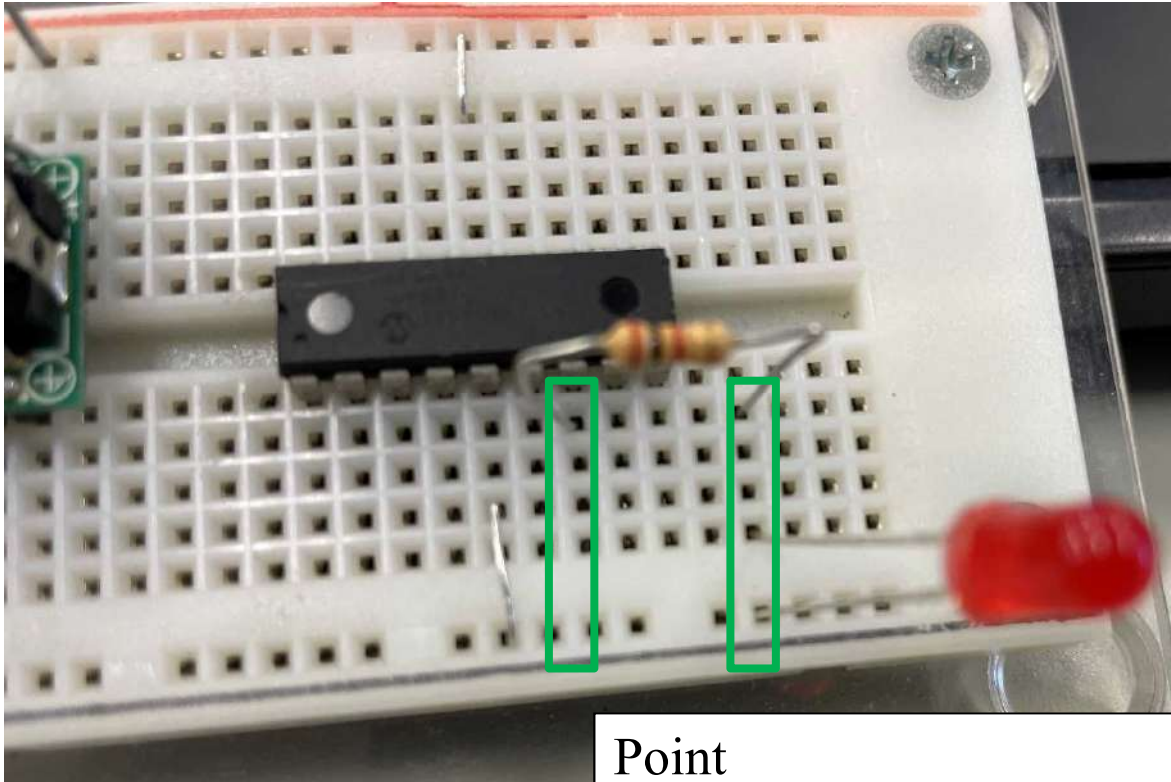
**LED**  
A: 足の長い方  
K: 足の短い方



橙枠: 配線済み  
赤枠: 配線

**PIC 7・8・9ピンを使用**  
7 (RB1) → 2KΩ + 赤LED  
8 (RB2) → 1.5kΩ + 緑LED  
9 (RB3) → 2KΩ + 青LED

## 実際の赤LED接続



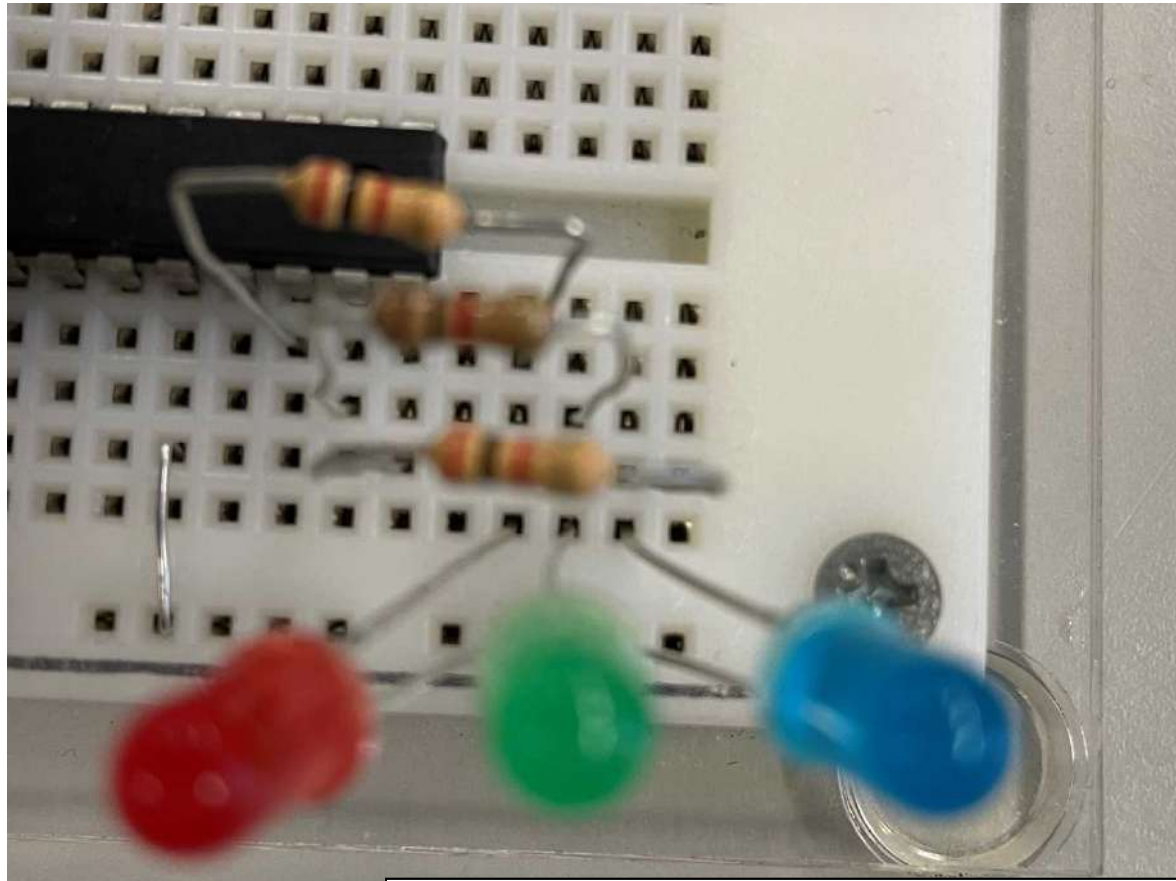
### Point

PICの7番ピンと抵抗の足を同じ列にする。（正面左側）

LEDの足の長い方（A）と抵抗の足を同じ列にする。

LEDの足の短い方（K）をGND（-）に接続する。

# 赤・緑・青 各LED接続



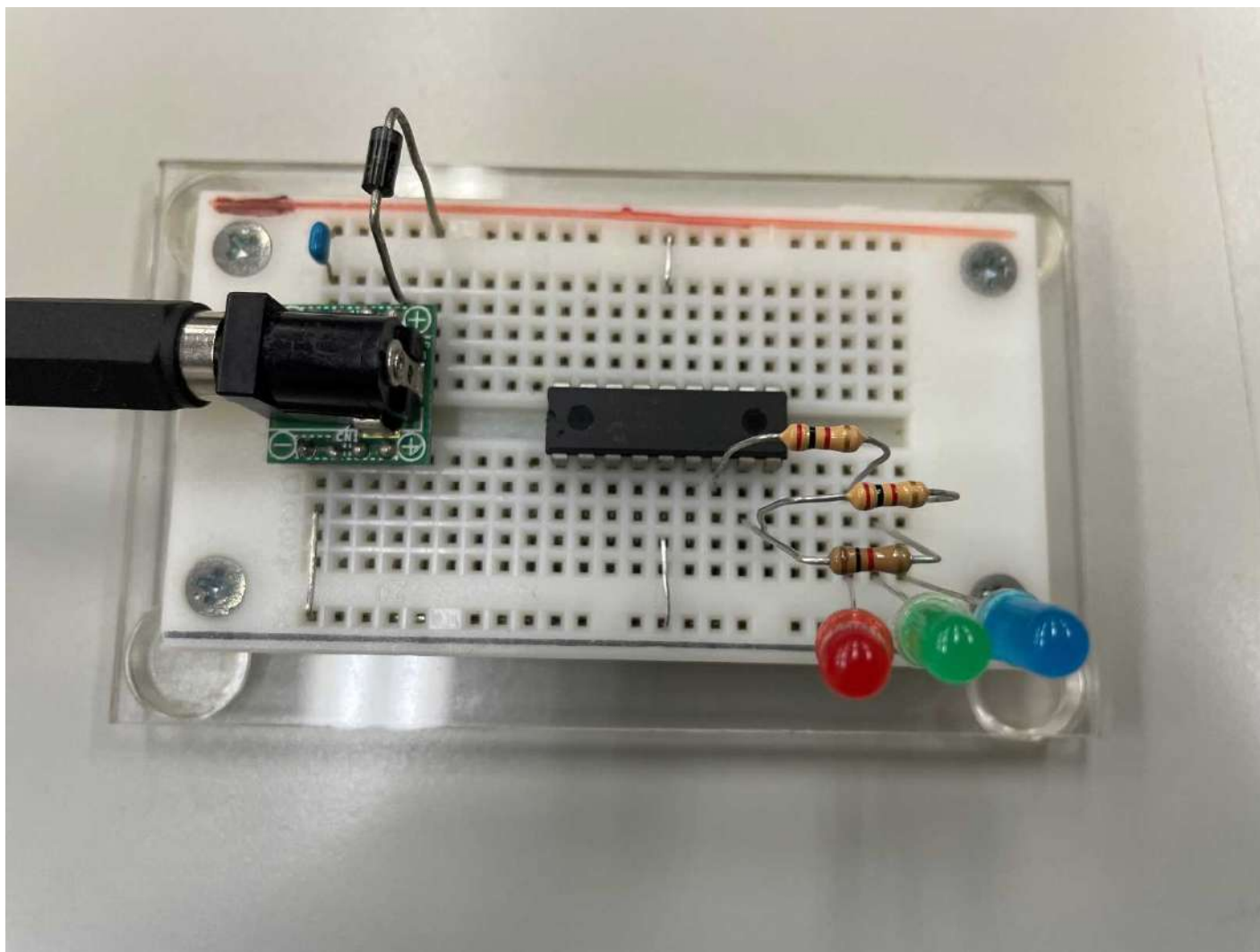
## Point

8番ピン→抵抗 $1.5\text{k}\Omega$ →緑LED→GND (－)

9番ピン→抵抗 $2\text{k}\Omega$ →青LED→GND (－)



# 回路完成



# 巻末資料

## 補足資料2

### プログラム作成～PIC書き込み

**使用した部品・用具については以下の参考文献P. 7を参照**

家田隆「PICマイコン入出力設計・制御」私の授業レシピ，千葉県教育委員会  
(2019)[https://ap.ice.or.jp/\\_wakaba2013/\\_docs/2019/w19-0073/w19-0073.pdf](https://ap.ice.or.jp/_wakaba2013/_docs/2019/w19-0073/w19-0073.pdf)

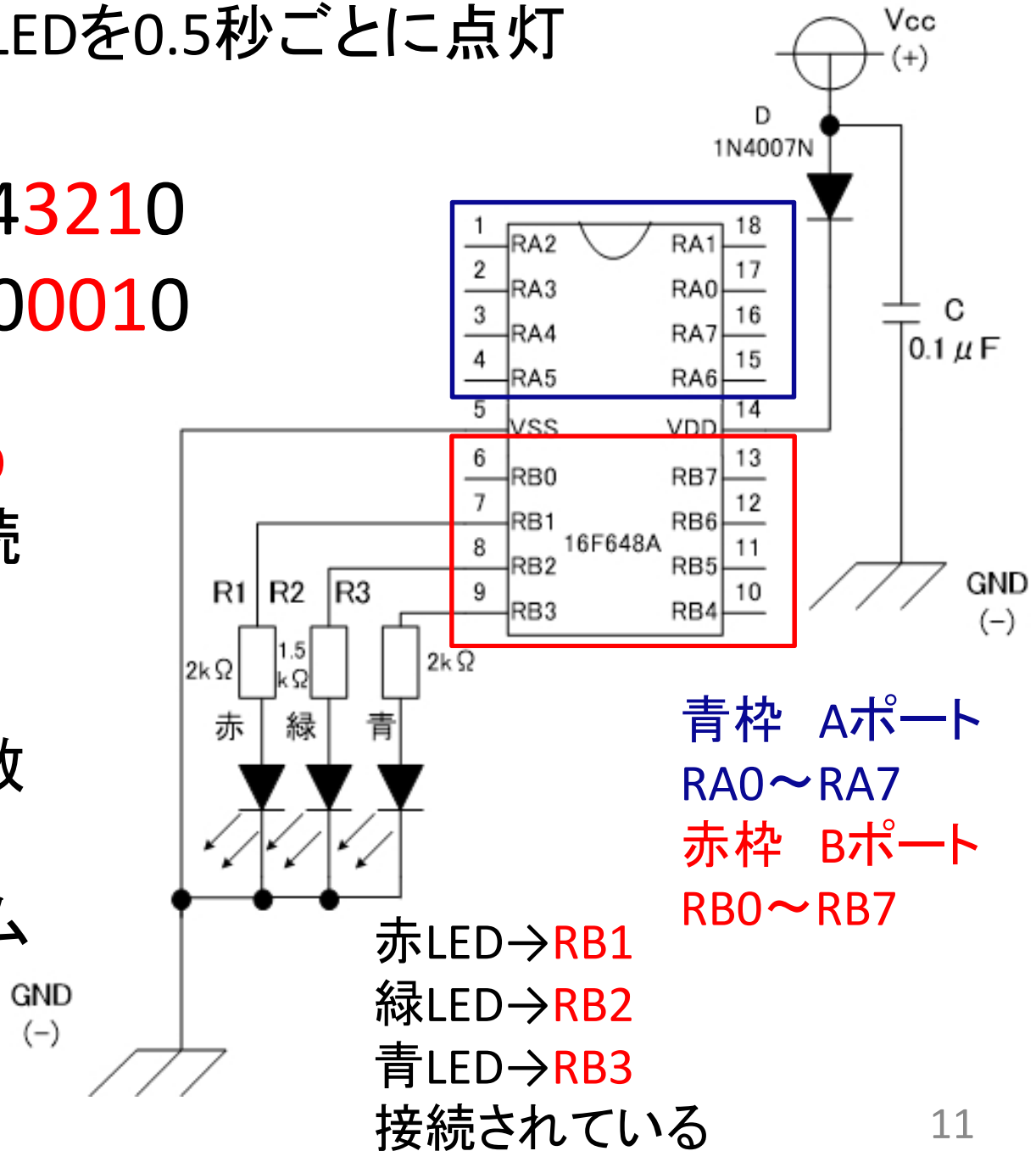
秋月電子通商（電子部品入手先） <http://akizukidenshi.com>

図37 赤→緑→青LEDを0.5秒ごとに点灯

(Bポート) (RB)7654**3210**  
 port\_b= 0b0000**0010**

上記の例だと、LED  
 はRB1～RB2に接続  
 RB1=1→赤が点灯

光らせたいLEDの数字を1に指定する  
 次ページプログラムで記述確認



# 以下のプログラムをメモ帳等に半角英数入力→保存

```
#include<16f648a.h>
#include delay(CLOCK = 4000000)
#include byte port_a=5
#include byte port_b=6
int main(void){

    set_tris_a(0x00);
    set_tris_b(0x00);

    while(1){
        port_b= 0b00000010;
        delay_ms(500);
        port_b= 0b00000100;
        delay_ms(500);
        port_b= 0b00001000;
        delay_ms(500);
    }
}
```



(半角英数ファイル名).cで保存  
今回は3led.cで保存

```
3led.c - メモ帳
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)
#include<16f648a.h>
#include delay(CLOCK = 4000000)
#include byte port_a=5
#include byte port_b=6
int main(void)
{
    set_tris_a(0x00);
    set_tris_b(0x00);
    while(1)
    {
        port_b=0b00000010;
        delay_ms(500);
        port_b=0b00000100;
        delay_ms(500);
        port_b=0b00001000;
        delay_ms(500);
    }
}
```

## 図39 プログラム解説

```
#include<16f648a.h> /*ヘッダ一定義 これを書かないと命令が使えない*/
#use delay(CLOCK = 4000000) /*マイコン処理速度(クロック周波数4MHz)設定*/
#byte port_a=5 /*PORTAのアドレス指定 データシートで確認*/
#byte port_b=6 /*PORTBのアドレス指定 データシートで確認*/
int main(void){

    set_tris_a(0x00); /*PORTA LEDなど出力する場合→00 0x→16進数表示 */
    set_tris_b(0x00); /*PORTBも同様 0b 0000 0000→2進数表示*/

    while(1){ /*永久ループ (引数1) */
        port_b= 0b00000010; /* 赤色LED発光 発光させたいLED→1を指定 */
        delay_ms(500); /*時間差 (500ミリ秒=0.5秒) */
        port_b= 0b00000100; /* 緑色LED発光 発光させたいLED→1を指定 */
        delay_ms(500);
        port_b= 0b00001000; /* 緑色LED発光 発光させたいLED→1を指定 */
        delay_ms(500);
    }
}
```

# メモ帳入力のプログラムを機械語に変換(コンパイル)

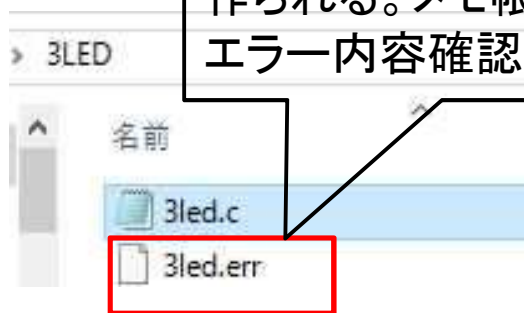
コンパイルのツールは、今回はPIC C Compiler(有償)を使用  
無償のツールもあり(MPLAB,HI-TECH Cなど)



プログラム  
入力済み

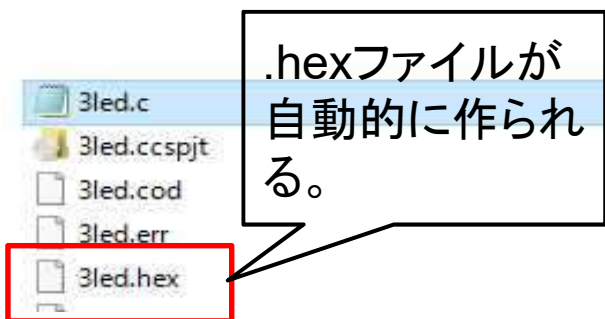
3led.errファイルが自動的に  
作られる。メモ帳で開き、  
エラー内容確認。

a



3led.cをメモ帳で開き、修正・保存  
→再度ドラッグ & ドロップ  
成功したら、図2の画面遷移へ

b



.hexファイルが  
自動的に作られる。

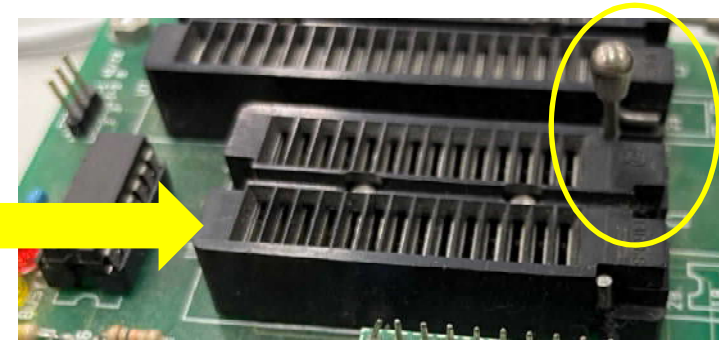
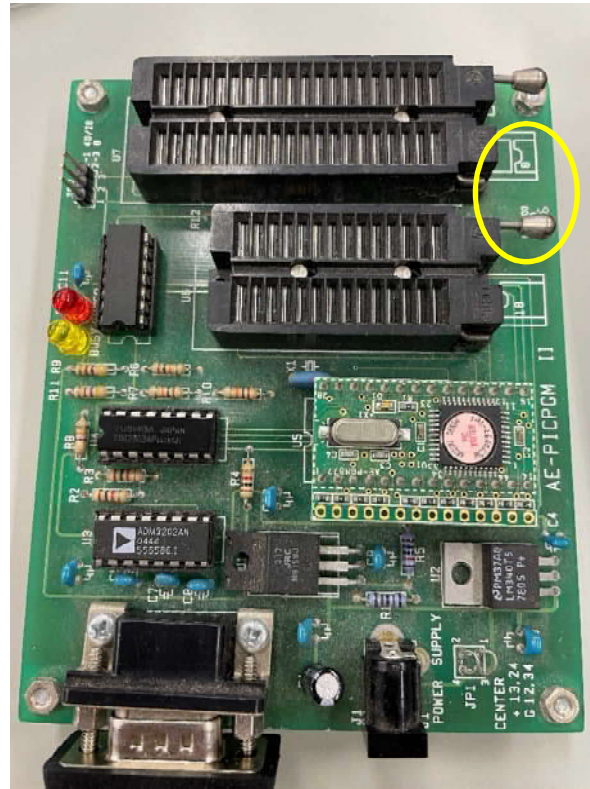


3led.hexをPIC Writerで書き込む。

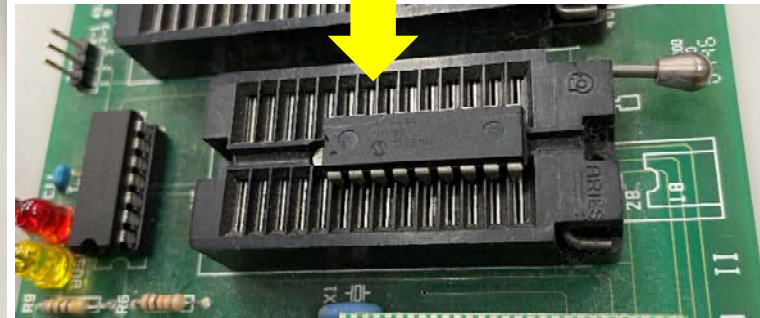
# PICへプログラム書き込み 準備



上記アイコン  
ダブルクリック

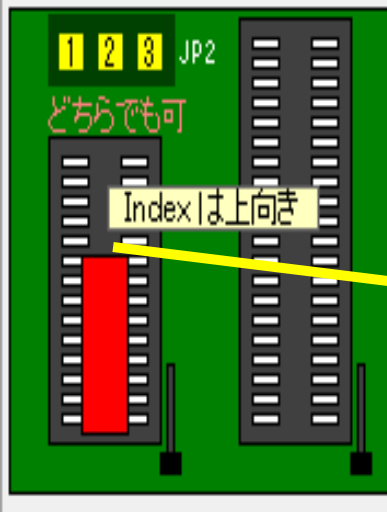


PIC Writer スロットをあげる

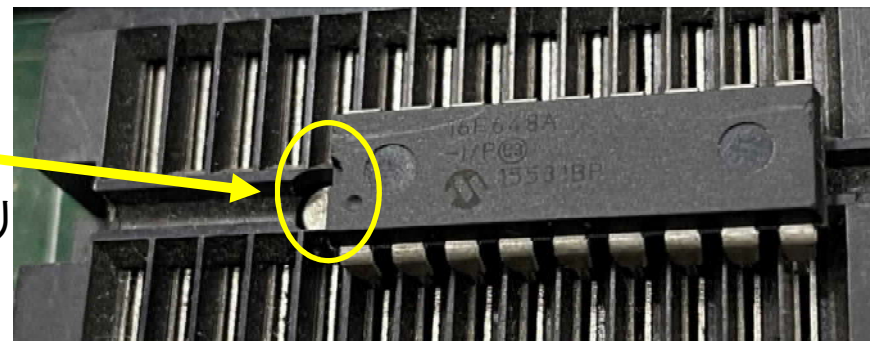


PICをセット スロットを下げる

PICマイコン情報



PICの半円状の切り  
かきを上側にする



# PICへプログラム書き込み ①から順に操作

②HEXロード  
3led.hexを選択

④書き込み開始



The screenshot shows the PIC Programmerv4 software interface. The main window title is "PIC Programmerv4 V6.76.1 C:\Users\yieda\Desktop\研究報告実験\3LED\3led.hex". The interface includes a menu bar with options like "ファイル(F)", "アプリケーション(O)", "アセンブラ・コンパイル(C)", and "通信". Below the menu bar are icons for "Hexロード", "Hex保存", and "通信". The "デバイス選択:" dropdown menu is set to "PIC16F648A". The "IDワード:" field is set to "FFFF". The "プログラム:" field is set to "3400". The "コードメモリサイズ:" is 4096 word. The "EEPROMメモリサイズ:" is 256 byte. The main display area shows a list of memory addresses and their corresponding hex values. The "プログラム(P)" button is highlighted with a red circle. The "プログラム(P)" button is also highlighted with a red circle. The "プログラム(P)" button is also highlighted with a red circle. The "プログラム(P)" button is also highlighted with a red circle.

CFG5	CFG6	CFG7	
CFG1	CFG2	CFG3	CFG4
コンフィグ1	0x3F50		
FOSC	INTOSC_GPIO		
WDTE	Disable		
PWRTE	Enable		
MCLRE	Internal		
BODEN	Enable		
LVP	RB4:GPIO		
CPD	Not_Protect		
CP	Not_Protect		

①デバイス選択  
PIC16F648Aを選択

③画面の通りに  
設定

④を実行し、プログラミング成功が表示されればOKです。  
スロットを上げてPICを取り出して、終了です。



# 巻末資料

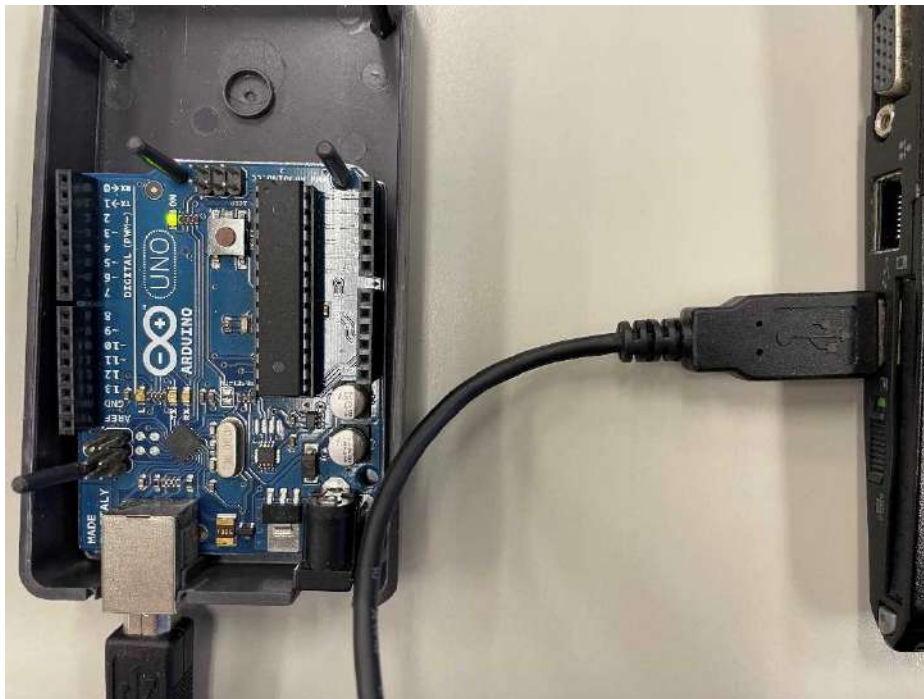
## 補足資料3

### アルディーノ制御ソフトウェアについて

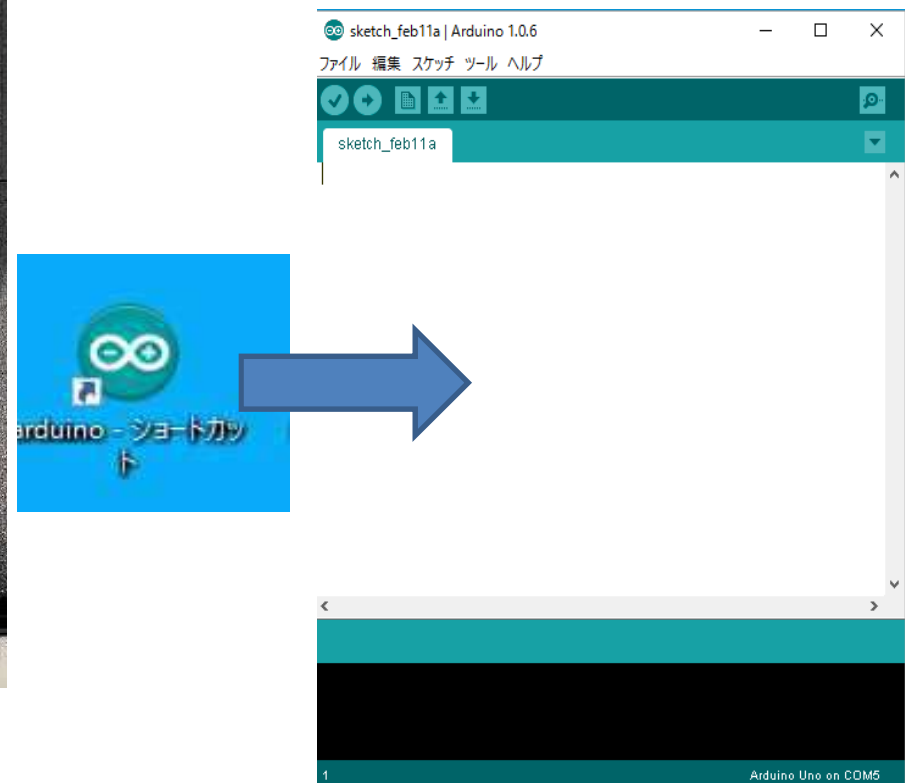
# ①アルディーノ制御ソフトウェア ダウンロード・インストール

<https://www.arduino.cc>

## ②アルディーノをPCへUSB接続



## ③ ソフトウェア起動

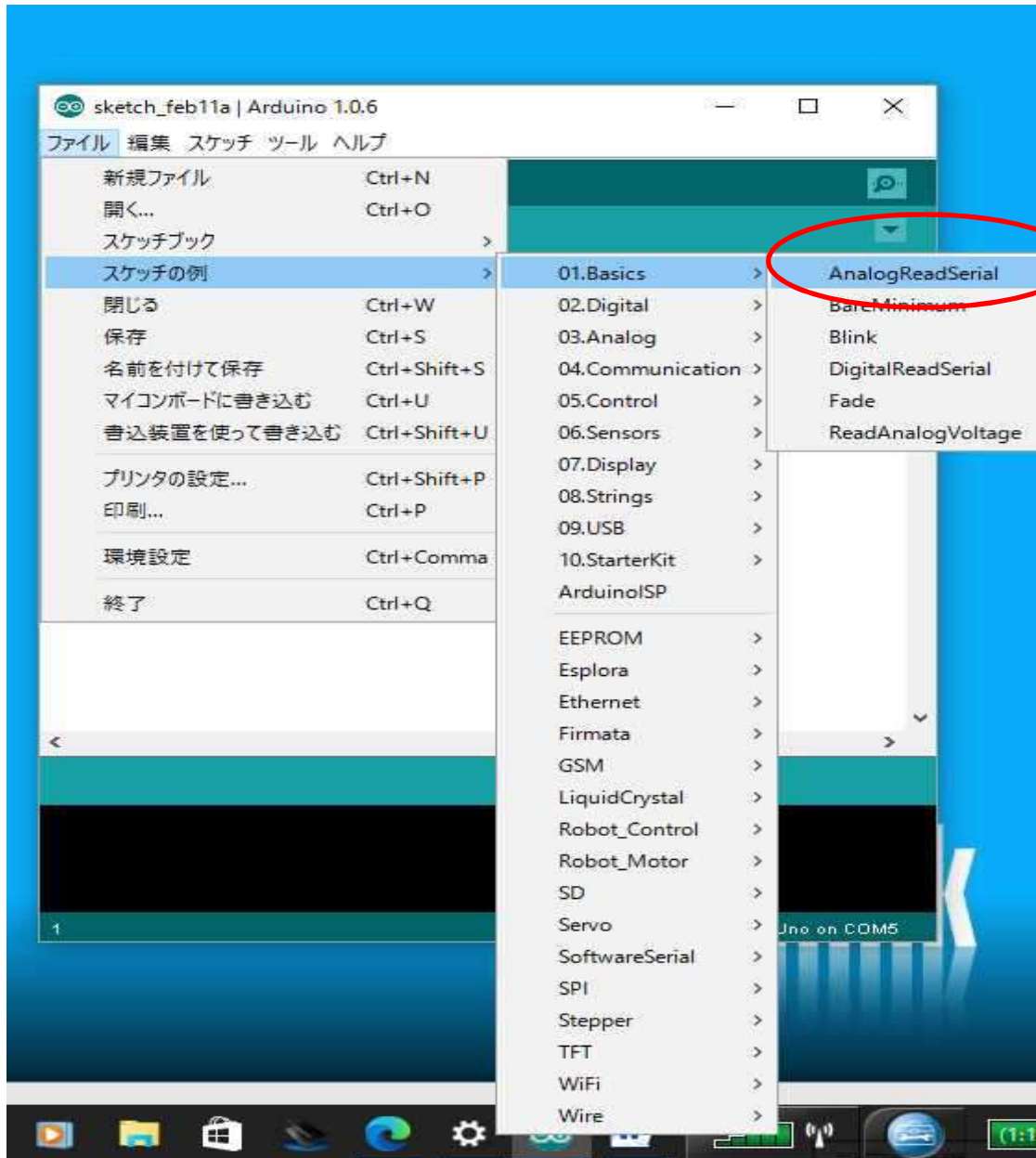


## ④ 通信接続確認 ツール→シリアルポートで確認

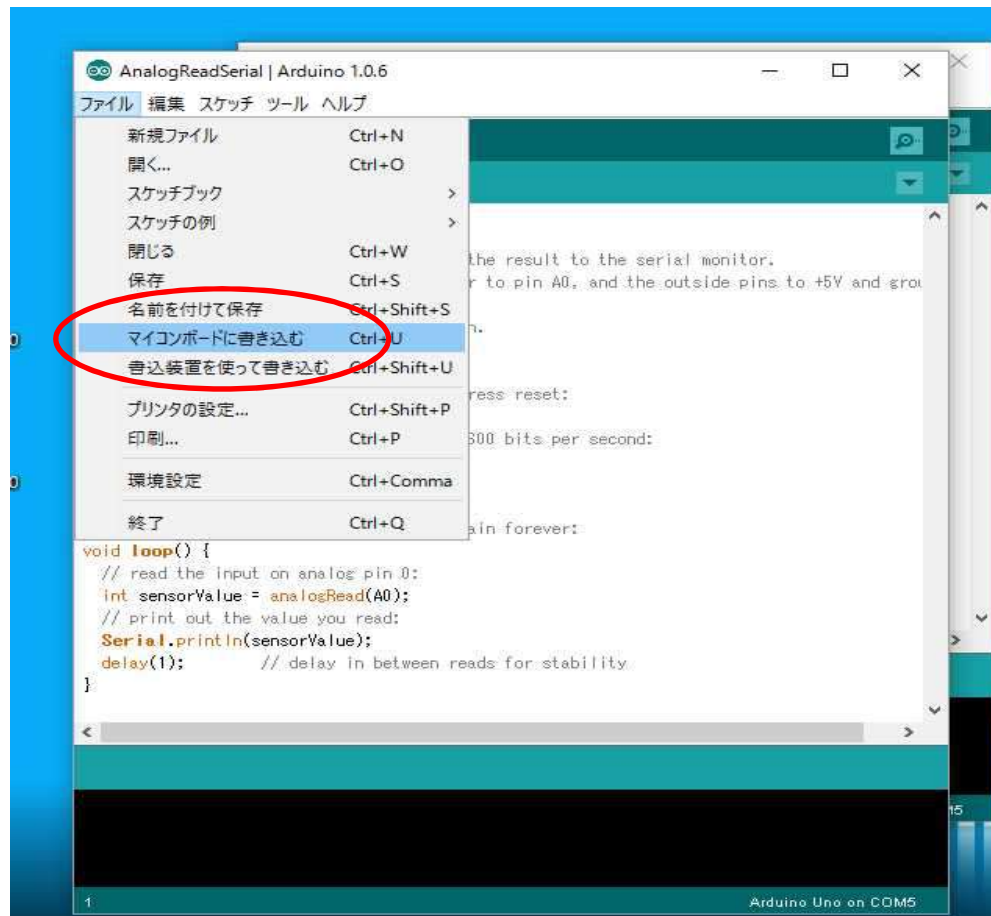


Arduino Uno on COM5表示でOK  
COM5と接続

⑤ サンプルプログラム 研究報告P15 センサ動作実験  
ファイル→スケッチの例→01Basics→AnalogReadSerial



## ⑥ マイコンへプログラム書き込み ファイル→マイコンボードに書き込む



オリジナルのプログラムを作成・書き込みすることもできる。

## 非接触スイッチ制御 プログラムリスト

```
sensor_SW_basic
int led = 9;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(9, OUTPUT);
}

void loop() {
  // センサピンの値を読み取る A0 : アナログピン0番ピン
  int sensorValue = analogRead(A0);
  // シリアルモニタに値を送る
  Serial.println(sensorValue);

  //センサの値が500よりも小さければ、
  if( sensorValue < 500 ) {

    //ledを明るく2秒間発光させる
    digitalWrite(led, HIGH);
    delay(2000);
  }
  else
  {
    //センサ値の条件に合致しない led消灯
    digitalWrite(led, LOW);
  }
}
```