

ETロボコン技術教育 イノベーションスキル向上セミナー at TDCソフトウェア株式会社 メカ(機械)制御に必要なセンサー・アクチュエータの基礎

ETロボコン本部実行委員長

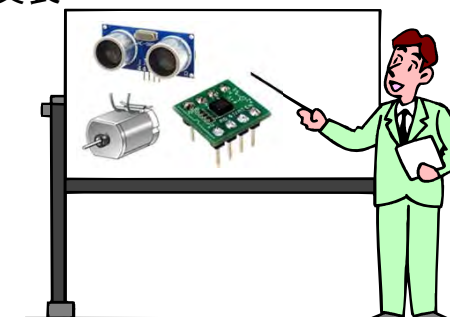
星 光行 (Mick Hoshi)

株式会社ジェイテック

技術本部 教育グループ(組込みソフトウェア、電気・電子 担当)

JASA(組込みシステム技術協会)

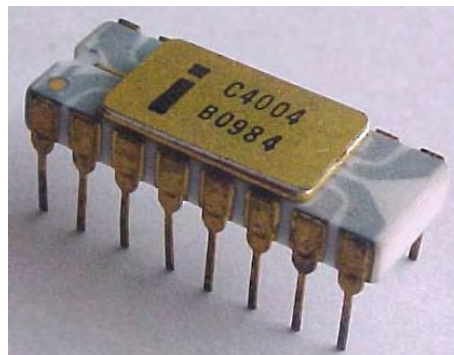
参与 / ETロボコン本部実行委員長 / ET展/IoTテクノロジー展 実行委員会副委員長



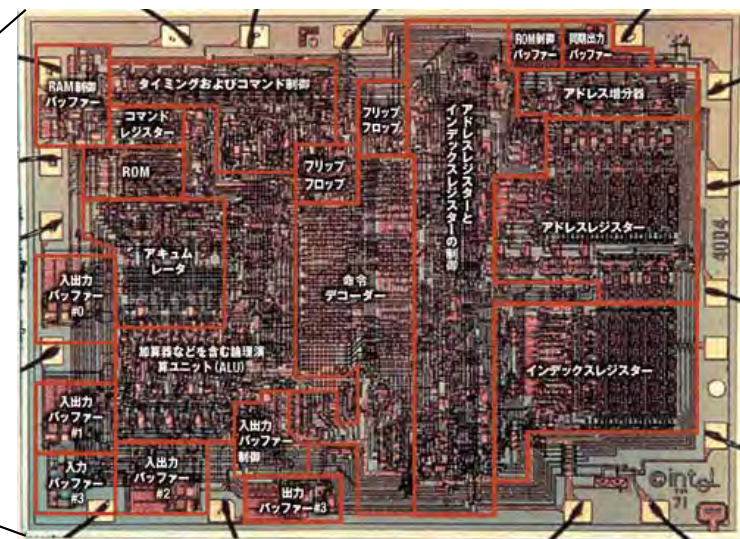
コンテンツ

- 技術のイノベーション
- センサーとアクチュエータ
- アナログとデジタル
- 各種センサーの紹介とモーター制御
- Arduino (アルドゥイーノ) とESP8266
- ArduinoとESPWROOM-02によるデモタイム
 - デモ1: 「Lチカ」
 - デモ2: プログラムで時報の音を発生させる
 - デモ3: アナログ入力とPWM出力
 - デモ4: フォトセンサで暗くなったら旗を揚げる
 - デモ5: ESP-WROOM-02で、自分のスマホにメールを送る

技術のイノベーション



世界初のマイクロプロセッサ「4004」(インテル社)
と開発した嶋 正利氏



4004の内部写真

写真資料: http://v-t.jp/jp/topics/column/shima_column_main.php

参考資料: <http://www.ieice.org/jpn/books/kaishikiji/199910/19991001.html#04>

技術のイノベーションは絶えず起こっている

20世紀に生まれて、21世紀に持って来れなかった技術

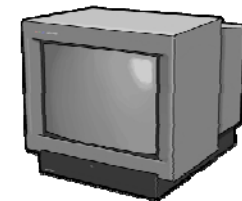
■ 消えてしまった技術

- アナログレコード(1940年代) ⇒ CD
- 真空管(1904) ⇒ トランジスタ、IC
- コアメモリ(1949) ⇒ 半導体メモリ
- UV-EPRM-紫外線消去型(1971) ⇒ フラッシュメモリ
- レーザーディスク(1989) ⇒ DVD, Blu-ray



■ 限りなく消え行く運命

- CRT(ブラウン管) ⇒ フラットディスプレイ
- テープ・ビデオレコーダ ⇒ HDD、半導体メモリ、光メディア
- フロッピーディスク ⇒ USBメモリ、SDカード、光メディア
- フィルム(カメラ) ⇒ SDメモリ、デジタルカメラ
- 電球 ⇒ LED照明、有機EL照明



消え行く産業、新しく生まれる産業。いつの時代も技術の新陳代謝は起きている

過去、日本は応用技術で発展

■ 基礎技術のほとんどは海外で発明

– 1926年: ブラウン管TV(高柳健次郎、日本ビクター)

◆ 独カール・フェルディナント・ブラウン(1897)

– 1971年: ビデオカセットレコーダ(ソニー)

◆ 米国アンペックス社(1956)

– 1973年: 液晶テレビ(シャープ)

◆ 米国RCA社(1964)

– 1978年: CCDカメラ(ソニー)

◆ 米国ベル研究所(1969) ボイル/スミス両博士 2006年にノーベル賞受賞

– 1979年: ウォークマン(ソニー)

◆ カセットテープ:オランダフリップス(1962)

黒船家電が日本でヒット商品となっている。



■ Appleも実は過去の技術の応用

– 米国シリコンバレーゼロックス社のパロアルト(Palo Alto)研究所が開発

◆ ウィンドウ / マウス / イーサネット etc

日本生まれの実用化要素技術



- マイクロプロセッサ → 今日のIT社会
 - 1971年：嶋 正利(ビジコン)
- フラッシュメモリ → 消えない半導体メモリ(USBメモリ、SDカード)
 - 1980年：舩岡 富士雄(当時 東芝)
- 3Dプリンタ → 工業製品から人工内臓に至るまで、あらゆる物の立体成型
 - 1980年：小玉秀夫(名古屋市工業研究所)、光造形法による立体成型で特許申請
- カーボンファイバー(炭素繊維) → 軽量化
 - 1961年：進藤昭男, 大阪工業試験所(現産業技術総合研究所)
- リチウムイオン電池 → 電気自動車
 - 1981年：吉野 彰, 旭化成フェロー
- ネオジム磁石 → 高性能モータ(今日の電気自動車)
 - 1984年：佐川真人, 住友特殊金属(現、日立金属)
- 青色発光ダイオード → LED照明(RGBによるフルカラーを実現)
 - 1993年：中村修二(当時 日亜化学工業)
 - ◆ 2014年、赤崎勇(名城大教授)、天野浩(名古屋大学教授)と共にノーベル物理学賞を受賞
- IGZO技術 → 高精細化と低省電力のディスプレイ(スマホがハイビジョンに)
 - 1995年：東工大の細野秀雄氏が設計指針を提唱、特許はJST^{*1)}が保有
- iPS細胞 → 今後の再生医療に期待
 - 2012年：山中伸弥がノーベル生理学・医学賞を受賞

*1) JST(独立行政法人科学技術振興機構):文部科学省の管轄

知っておきたい最近のトレンドワードとIoTの今後



- Edge(エッジ)テクノロジー → エッジとは先端という意味
 - IoTでネット上に流れるデータの増大とサーバ側の処理が増大
 - ◆ そのため、末端側で出来ることは末端で処理するという考え方 → ユーザにより近いところで処理
 - コンピュータの歴史は、サーバー側処理と端末側処理の繰り返し
 - ◆ これからは、クラウド利用したサーバー側処理と端末側処理のコンビネーション
 - これらの実現には、5Gが重要になってくる。
- 5G (5Generation : 5世代) → 次世代通信システム **ローカル5Gに注目**
 - 5Gは、「超高速」「超大容量」「超大量接続」「超低遅延」を実現する無線ネットワークの規格。
 - 現在の4Gの100倍の速度を持つと言われ、世界中で準備が進められている。
 - 日本では、2020の東京オリンピックに実用化を目指している。
- SDGs(Sustainable Development Goals:持続可能な開発目標)
 - SDGs(エス・ディー・ジーズ)は、国連加盟193か国が2016年～2030年の15年間で達成するために掲げた目標(2015年9月の国連サミットで採択)で、現在17のゴールが定められている
 - ◆ 17のゴールは、ネットで検索すると出てくる
 - ◆ IoTイノベーションチャレンジでは、この17のゴールからテーマを選択している
- **IoTの未来を考えると、IoTで社会がどのように変わるかの視点で捉えることが重要**
 - 現在の無線通信が100倍速くなったら、自動車がすべて自動運転になったら....
 - 自分の生活スタイルがどうか変わるか？ あるいは社会がどう変わるかの視点で考えてみる

■次世代の技術者育成

- 「新しいものを生み出すことの出来る次世代の技術者育成」を目指したチャレンジ機会を提供します。
- アイデア、デザイン、設計、実装、プレゼンテーションの能力を審査。
- テクノロジーをベースに「新しい」「わくわくする」ものを作り、発表。

■「つくって動かす」

- センサ、アクチュエータをそれぞれ一つ以上使い、ソフトウェアで制御する。ネットワーク活用推奨！
- 完成品の部品表を提出(50万円以内でつくる)。試作の部品は問わない。

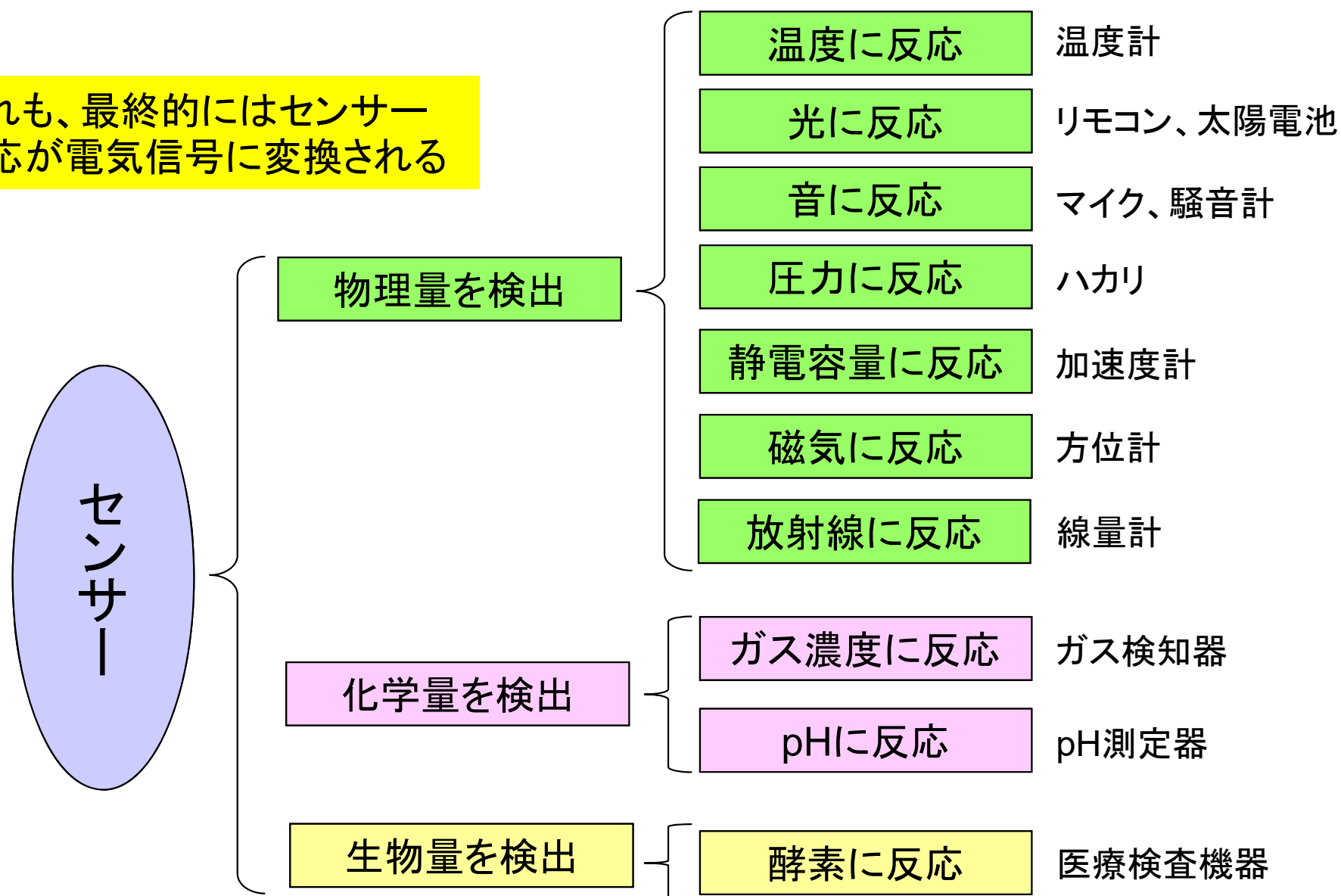
カレッジニア部門に参加のチームは、創作料理の料理人です。
本日の講義では、要素技術(食材)を紹介します。
その食材を使って、どのような料理を創作するかです。

センサーとアクチュエータ

代表的なセンサーの種類

センサーとは、物理的変化あるいは化学的変化を検出して電気信号に変換する素子

いずれも、最終的にはセンサーの反応が電気信号に変換される



センサーの2種類のタイプ

■ 外部から電圧を与えるタイプ

ー 光に反応

- ◆ Cds (硫化カドニウム)

➤ 光で抵抗値が変化



- ◆ フォトランジスタ

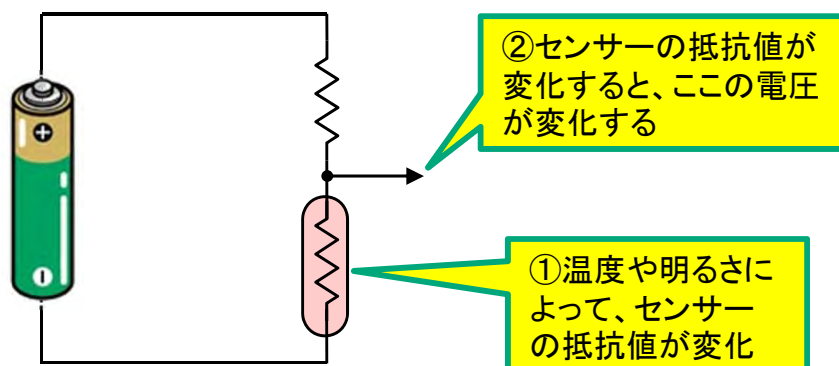
➤ 光で電流が変化



ー 音に反応

- ◆ コンデンサマイク

➤ 振動でコンデンサの容量が変化



■ センサーが電気を発生するタイプ

ー 光に反応

- ◆ フォトダイオード

➤ 光で電圧を発生



- ◆ 太陽電池(センサーには使わない)

➤ 電気を発生

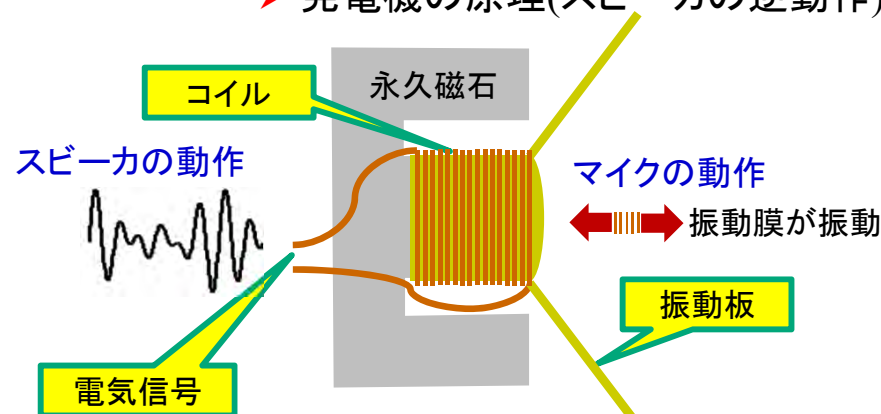
ー 音に反応

- ◆ 圧電マイク(クリスタル:水晶、ロッシェル塩)

➤ 圧力で電圧を発生

- ◆ ダイナミックマイク(MC: Moving Coil)

➤ 発電機の原理(スピーカの逆動作)

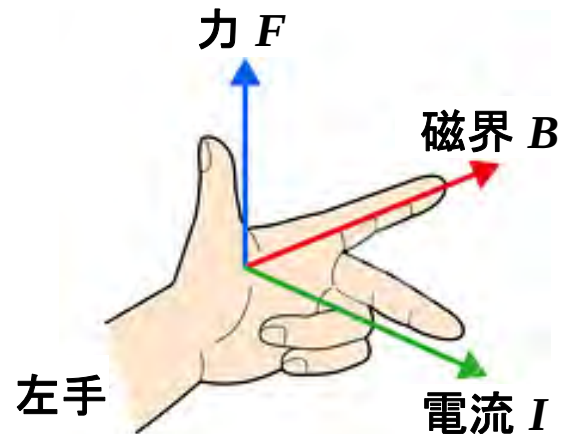


フレミングの法則は次ページで説明

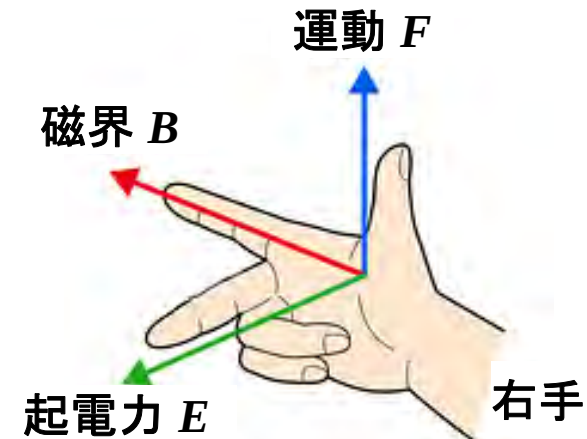
フレミングの法則(モーターと発電機の関係)



フレミング左手の法則は
モーターの原理



フレミング右手の法則は
発電機の原理



逆動作の関係

モーターに電圧をかければ回転する



モーターを回転すると発電する



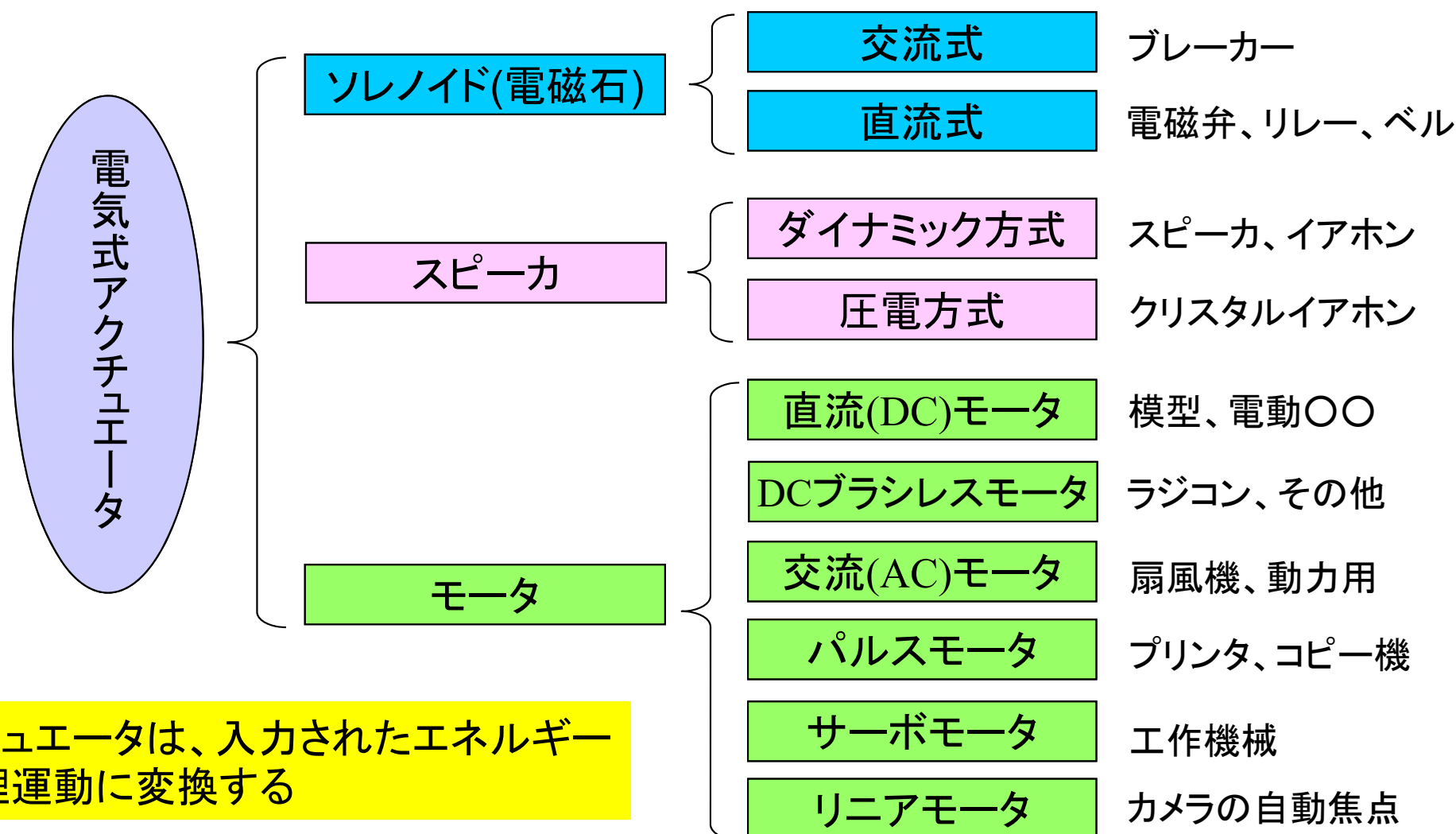
この部分を手で回すと、反対のモーターが回転する。

車のセルモーターも、エンジン始動時はモーターとして、エンジンがかかると発電機として働く

参照URL: <https://t13.pimg.jp/025/196/103/1/25196103.jpg>

代表的なアクチュエータの種類

アクチュエータとは、入力されたエネルギーを物理運動に変換する装置の総称です。
電気式アクチュエータは、コントローラ(コンピュータ)からの指令に従って、電気エネルギーをモータによる回転運動や油圧を利用した上下運動などの物理運動に変換します。



アクチュエータは、入力されたエネルギーを物理運動に変換する

リレーと電磁式ソレノイドの仕組み

リレー(継電器)とは、電気信号を物理スイッチに変換する部品。
小さな信号で大きな信号を制御できる。

様々なリレー



普通サイズ
リレー

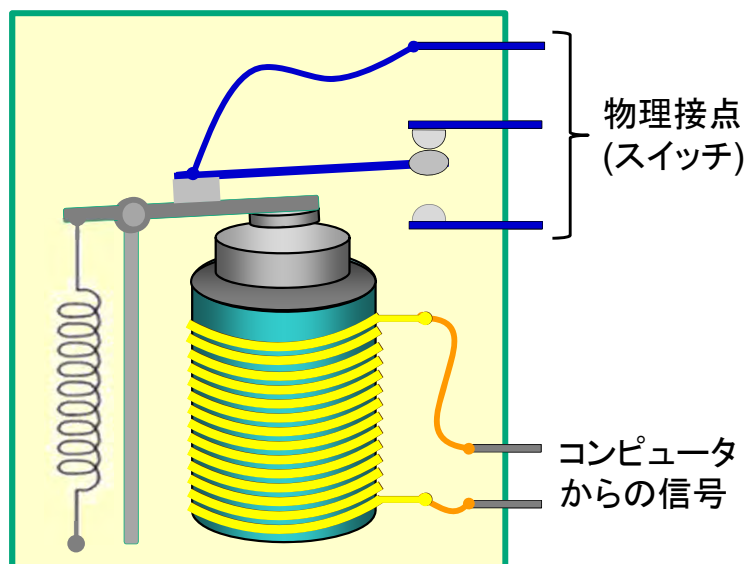


小型サイズ
リレー

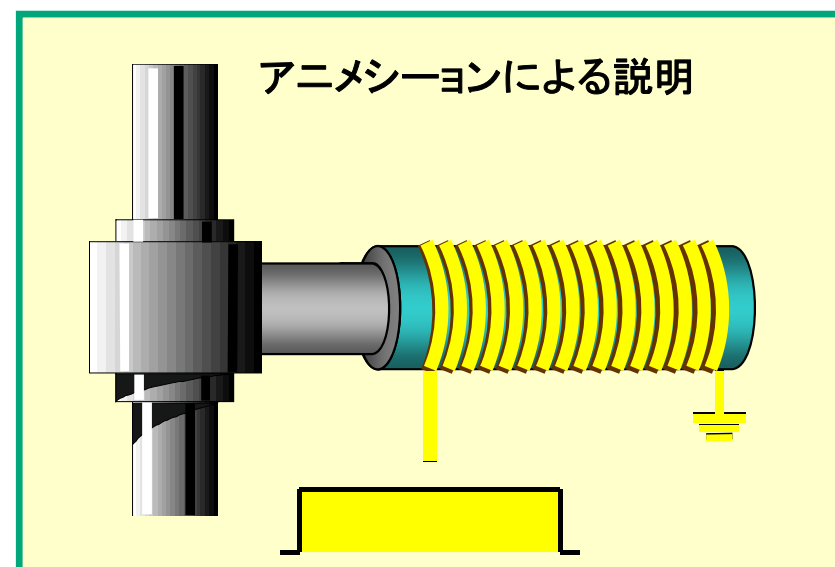
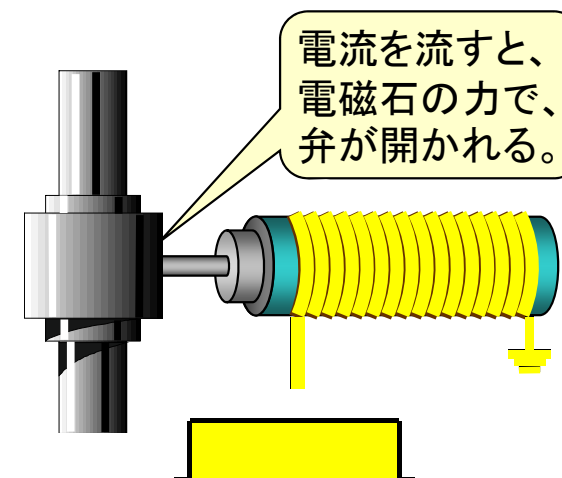
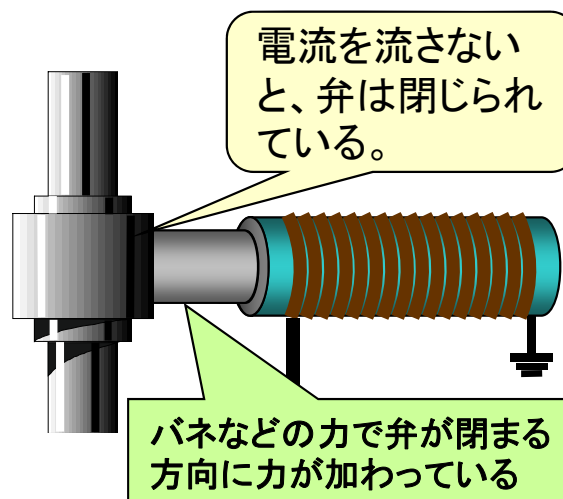


マイクロ
リレー

リレーの仕組み

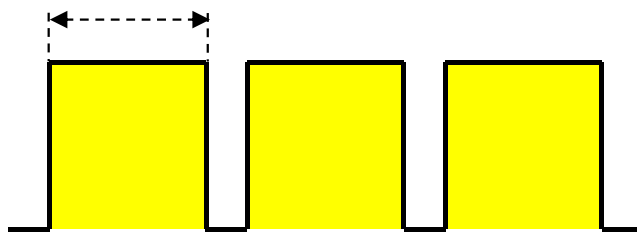


電磁式ソレノイドは、電磁石の力で、弁などを開閉する装置。

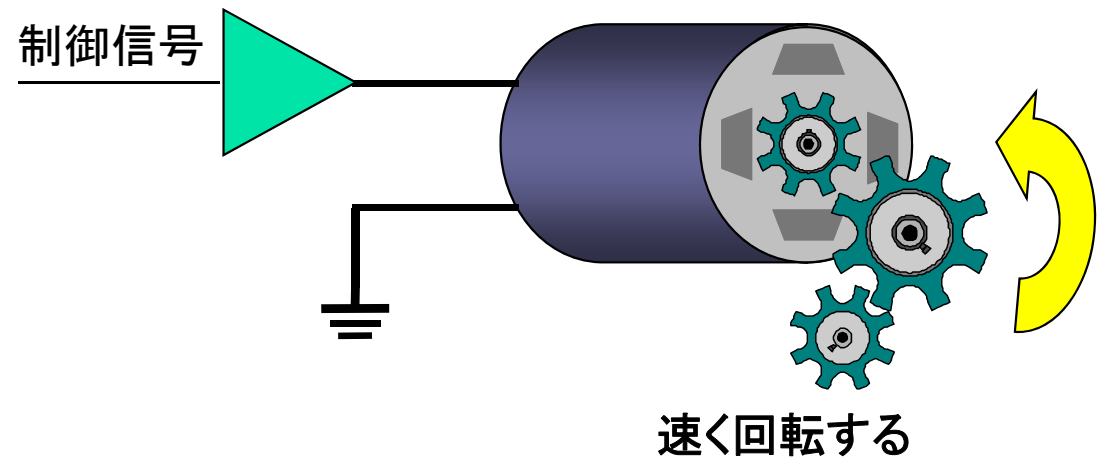


モータ制御(PWMによる直流モータの制御)

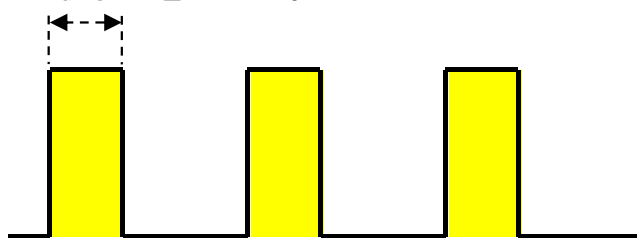
最高電力の約80%



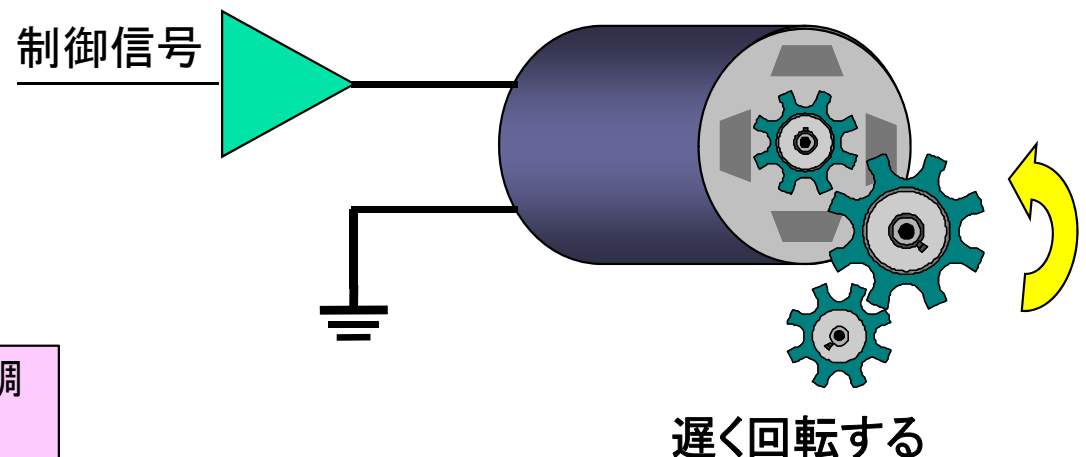
与える電力の時間を長くすると、
平均電力が大きくなり回転が速くなる



最高電力の約40%

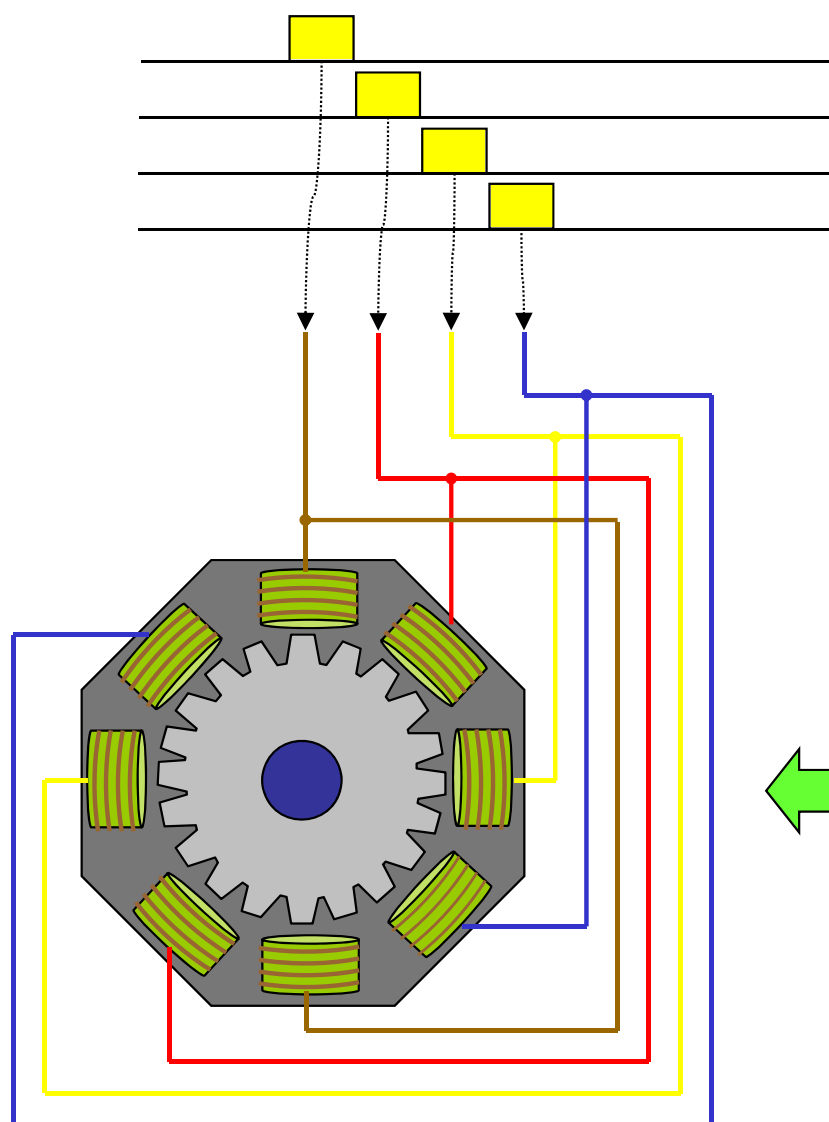


与える電力の時間を短くすると、
平均電力が小さくなり回転が遅くなる

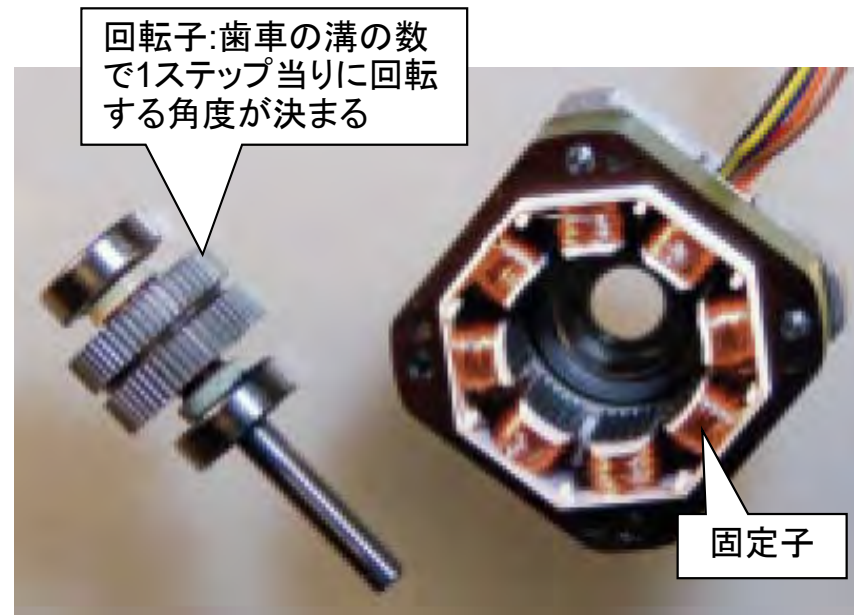


PWM(Pulse Width Modulation):パルス幅変調
パルス幅で負荷に与る平均電力を制御する。

モータの制御(パルスモータの原理)



代表的なパルスモータの動作原理



パルスモータ KP42HM2-502を分解した様子
(HB型, 日本サーボ)

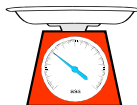
← パルスモータ(ステッピングモータとも言う)は、パルスを送る順序、速さ、時間、個数で、回転方向、回転速度、回転角を制御する。

パルスモータは、プリンタ、コピー機などには欠かせないモータ

写真引用: 鈴木憲次, 電子部品選択&活用ガイド(メカトロニクス編)
トランジスタ技術 2005年6月号, CQ出版社
<http://www.cqpub.co.jp/toragi/TRBN/contents/2005/tr0506/0506denshi3.pdf>

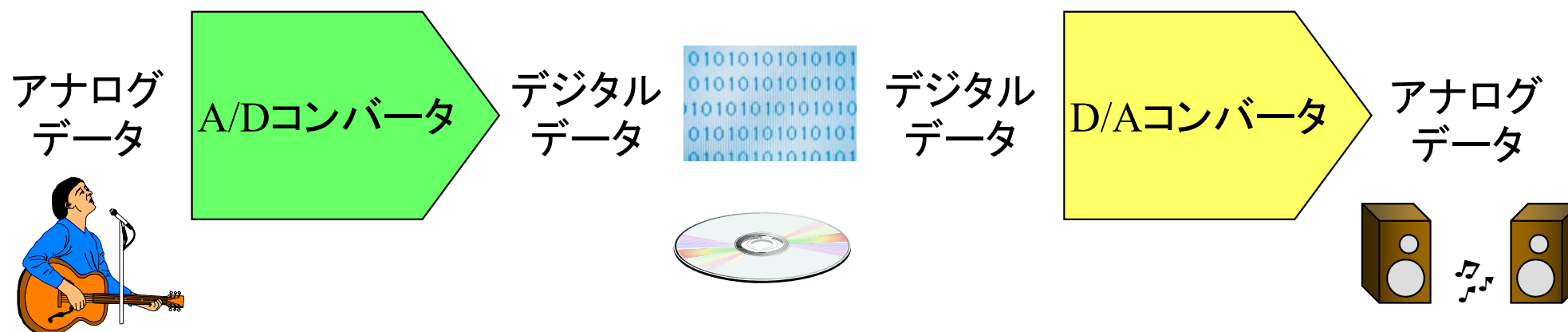
アナログとデジタル

アナログ量とデジタル量

- アナログ量 : 連続的に変化する量 
- デジタル量 : とびとびの数で表す量 
 離散値として数値化された量

■ アナログ⇔デジタル変換

- アナログ ⇒ デジタル: A/Dコンバータ
- デジタル ⇒ アナログ: D/Aコンバータ



A/Dコンバータの動作概念

サンプリングの定理：A/D変換するとき、元の信号の2倍以上の周波数でサンプリングをすると、デジタル化したデータから元の信号を正確に復元できる。

音楽用CDのサンプル周波数は44.1kHz。これは、1秒間を44,100個に刻んで数値化している。

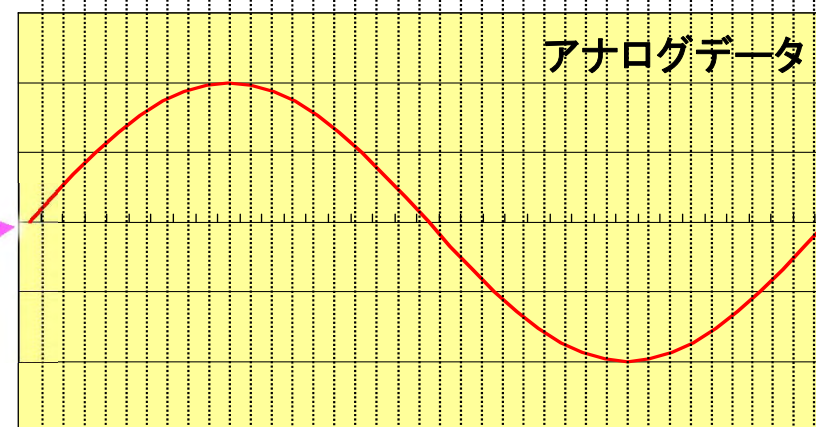


音楽用CD

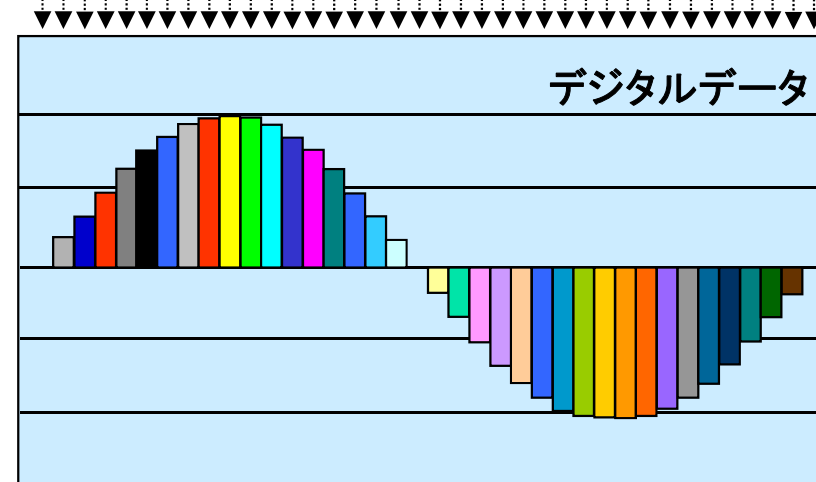


「あ」の発生音の波形
(写真：江戸川学園取手高校)

サンプリングクロック → 



アナログデータ

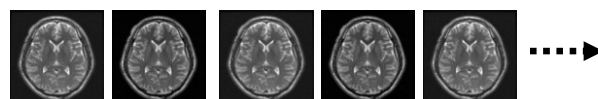


デジタルデータ



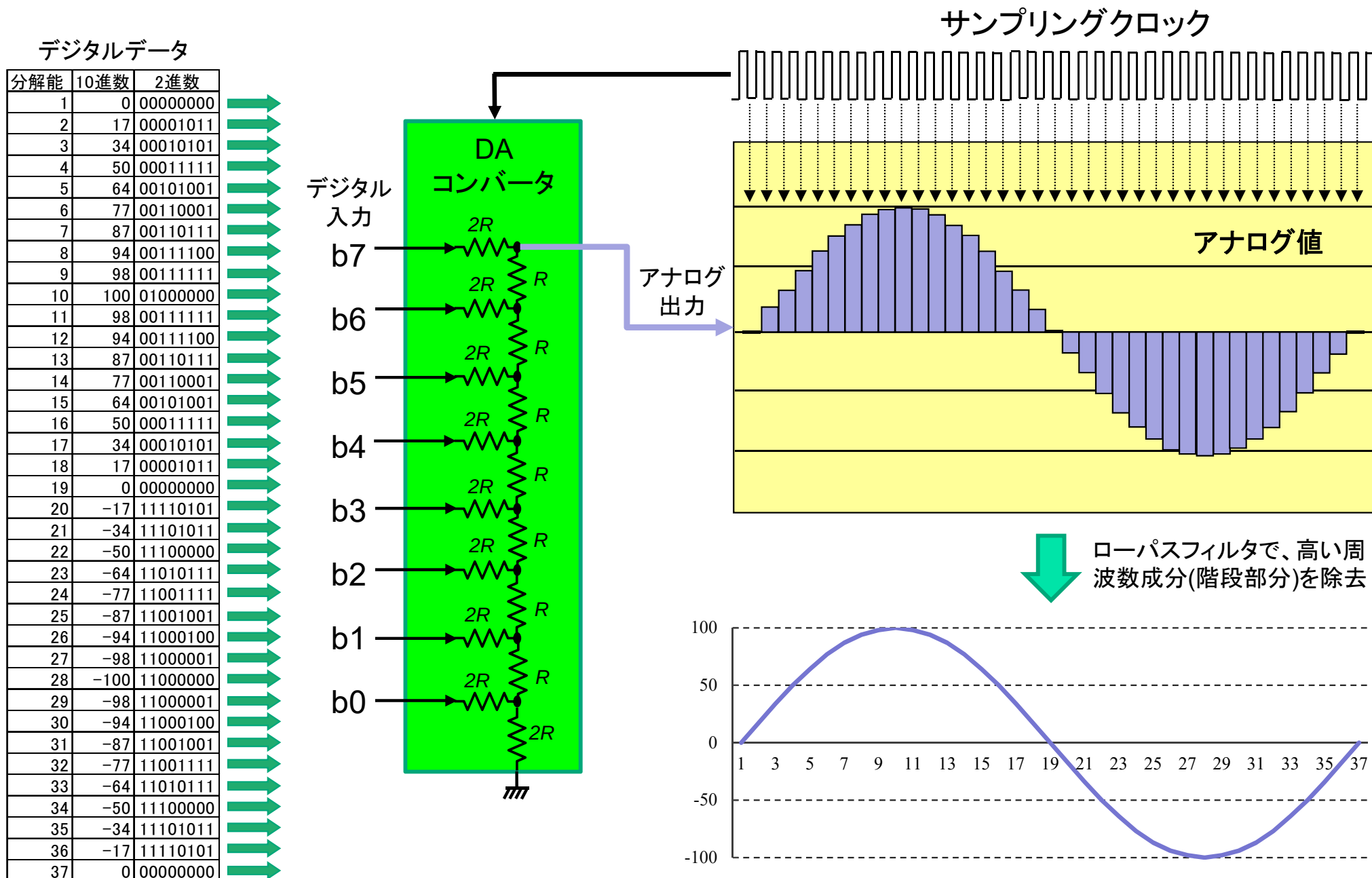
MRI

Magnetic Resonance Imaging

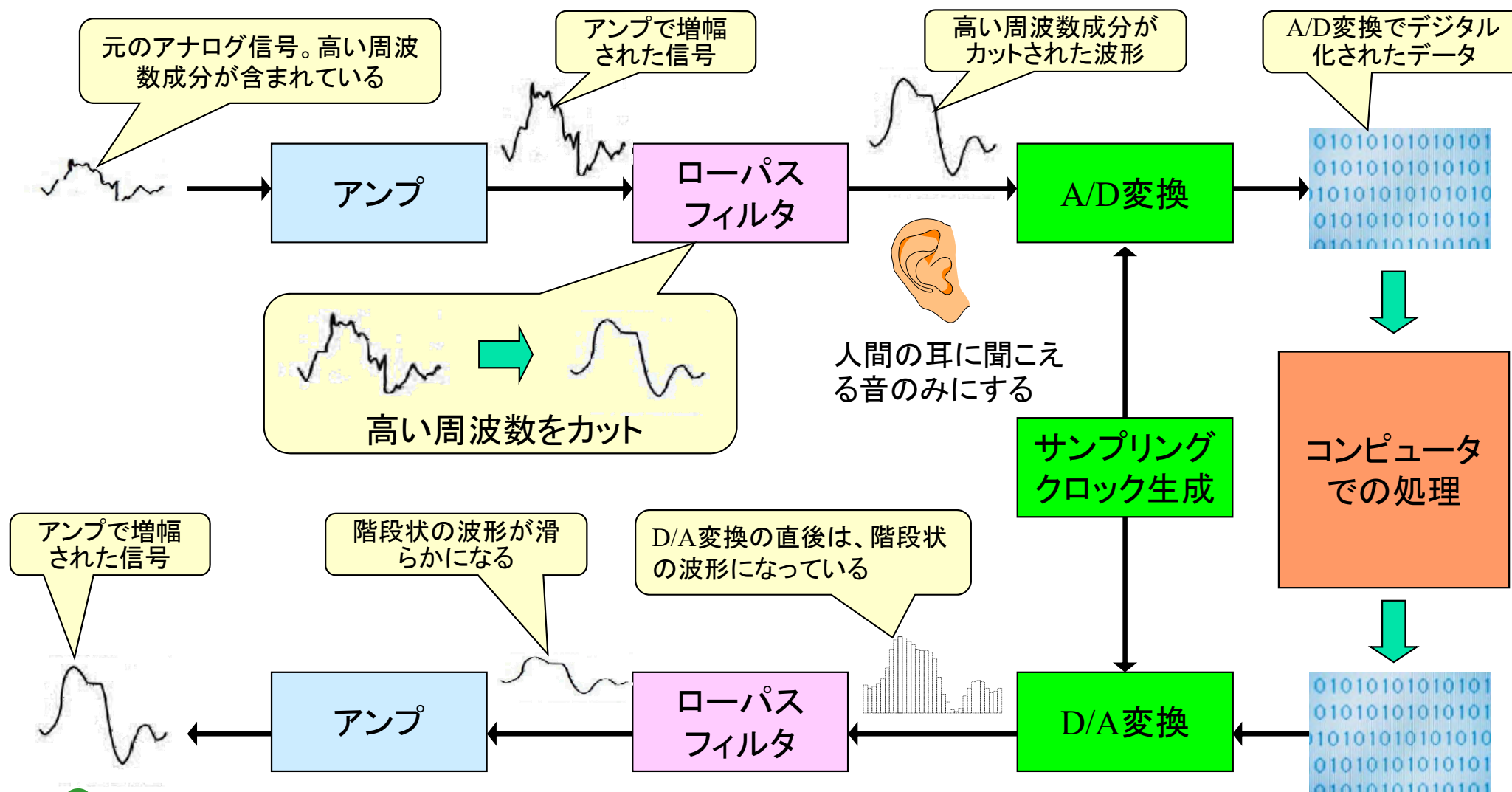


A/D変換は、MRIと似ている。
どれだけ細かく輪切りにするかがサンプル周波数

D/Aコンバータの動作概念



アナログ⇔デジタル変換動作の流れ



現在、「ハイレゾ・オーディオ」の規格が登場してきている。これは、サンプリングクロックを従来のCDの44.1kHzから、96kHz～192kHzまで高くし、さらに量子化も16ビットから24ビットにして、高い周波数成分まで再生できるようにしたものである。



ハイレゾオーディオ
のロゴマーク

世界の規格化団体(ISO/IEC/IEEE/ITU)



ISO(International Organization for Standardization)とは、工業標準の策定を目的とする国際機関で、各国の標準化機関の連合体。1947年に設立され、現在では147カ国が参加している。本部はスイスのジュネーブ。ISOxxxの規格名(例:ISO9000)。



IEC(International Electrotechnical Commission)とは、「国際電気標準会議」の略で、電気、電子、通信、原子力などの分野で各国の規格・標準の調整を行なう国際機関。1906年に設立され、1947年以降はISOの電気・電子部門を担当している。本部はスイスのジュネーブ。IECxxxの規格名(例:ISO/IEC 13818-1)。 [電卓のキー配置\(下段から1,2,3の配列\)](#)。



IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.)とは、アメリカ合衆国に本部を持つ電気・電子技術の学会。2002年にIECとの協力協定を締結。IEEExxxの規格名(例:IEEE1394、IEEE802.11g)。

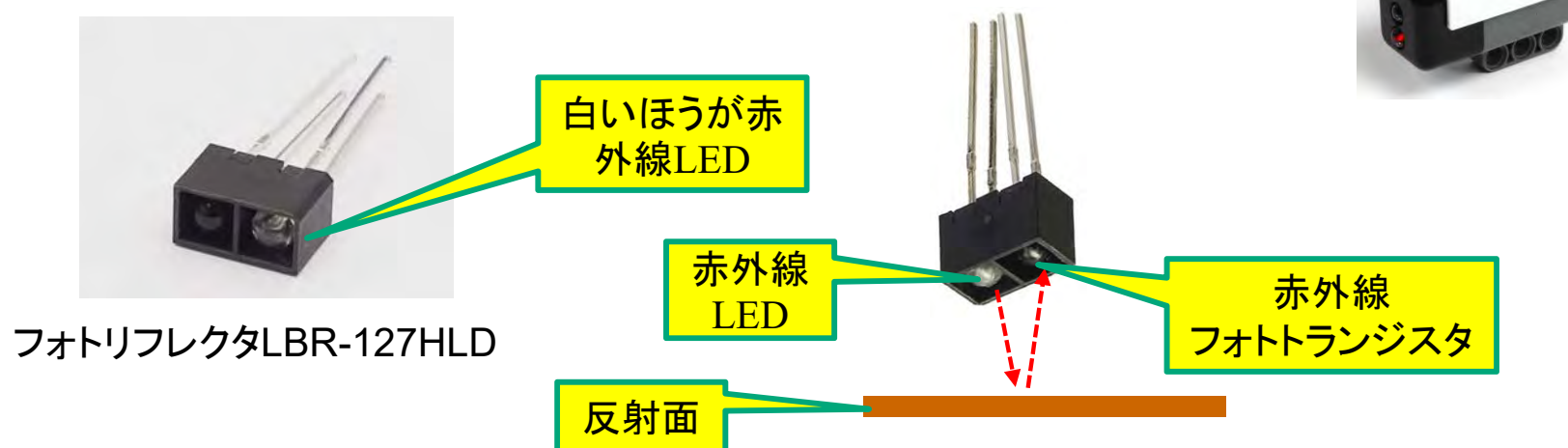


ITU(International Telecommunication Union)とは、「国際電気通信連合」の略で、電気通信に関する国際標準の策定を目的とする、国際連合の下部機関。本部はスイスのジュネーブ。H.xxxの規格名(例:H.264)。 [電話のキー配置\(上段から1,2,3の配列\)](#)。

各種センサーの紹介とモーター制御

反射型フォトリフレクタ

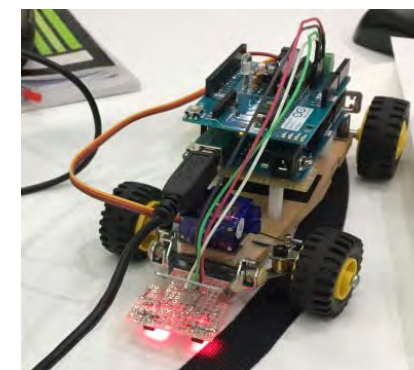
- フォトリフレクタは、LEDとフォトランジスタで構成されている
- そして、LEDから出た光が反射をフォトランジスタで受けている
- ETロボコンで使っている赤外線センサーと同じ仕組み



重要

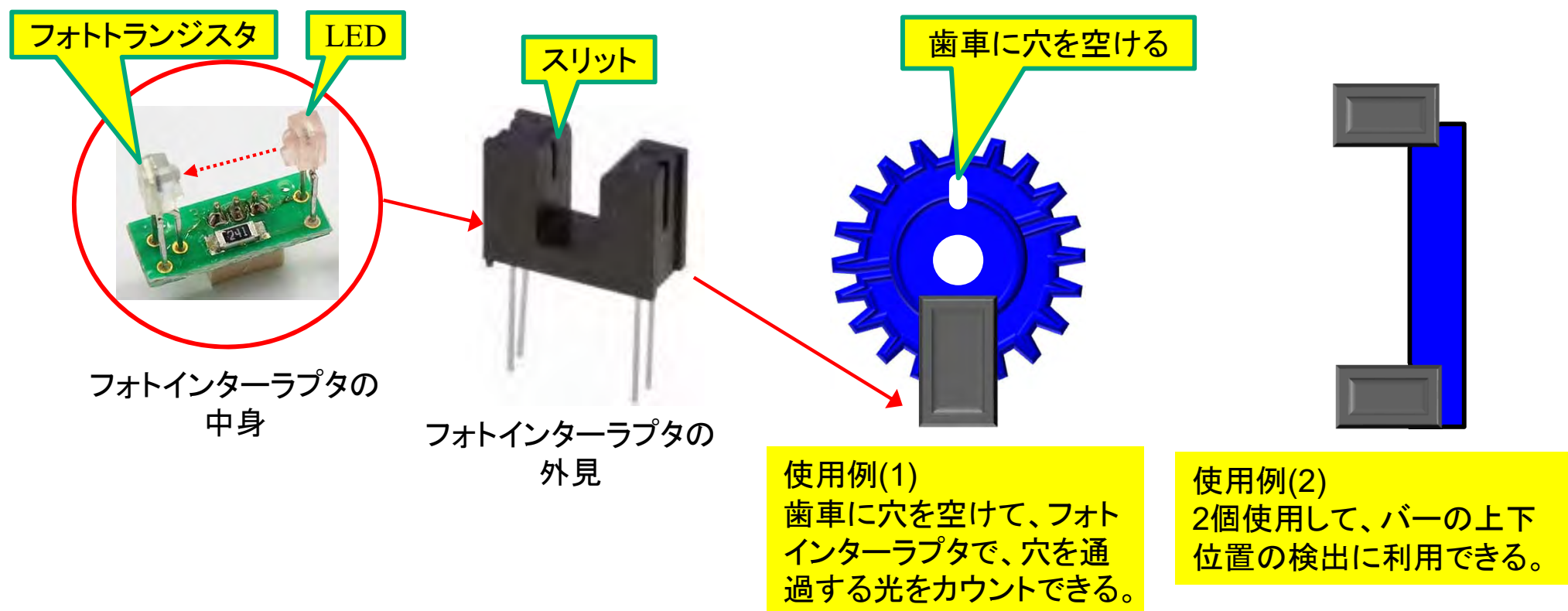
赤外線は、布に吸収されるため、ETロボコンのコースを始め布では正しく動作をしません。
 そこで、赤外線LEDを赤色LEDに変えると布でも反応します。
 レゴの赤外線センサーが赤く光っているのはそのためです。

市販されているフォトリフレクタはすべて赤外線タイプです。
 そのため、赤外線LEDが光っているかは人間に直接は見えません。
 それで、Androidのスマホのカメラで見ると発光しているのが白く見えます。
 iPhoneのカメラでは、フィルタが入っているため見えません。



透過型フォトインターラプタ

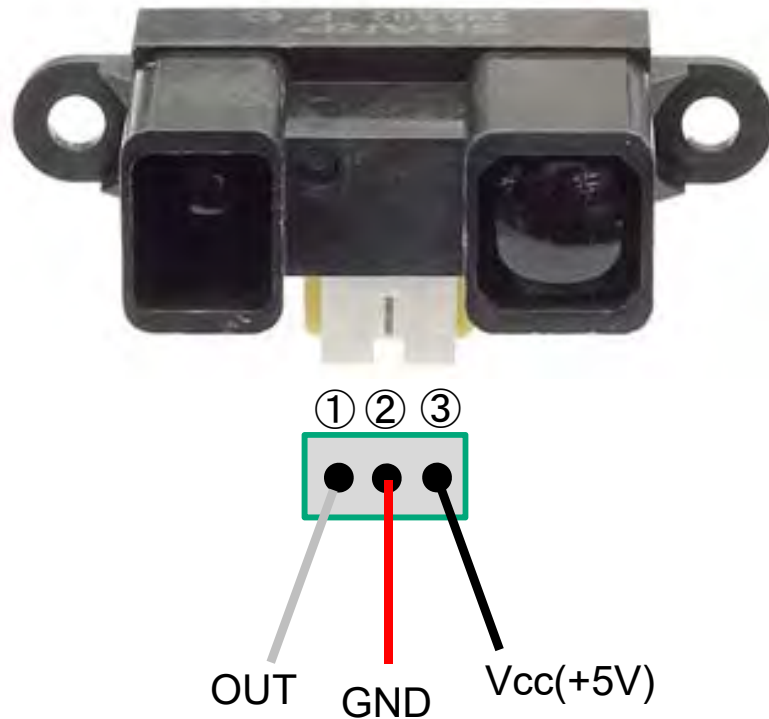
- フォトインターラプタは、コの字型になっていて、LEDとフォトランジスタで構成されている
- そして、LEDから出た光を反対側にあるフォトランジスタで受けている(光があたっている状態)
- その間に、光が遮られたことを検出(光が遮られた状態)



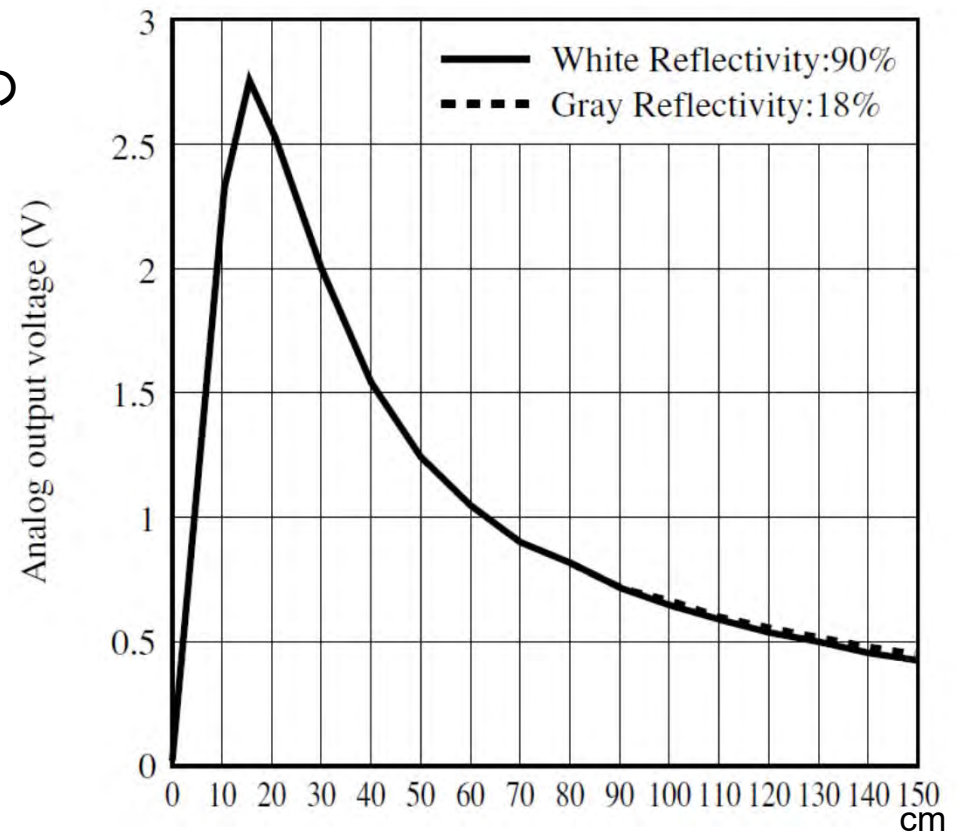
距離センサー

この距離センサーは、赤外線を発光し、対象物からの反射光をフォトランジスタで受けて距離を測定する。原理は、反射型フォトリフレクタと同じ。

測距モジュール(シャープ)
GP2Y0A21YK



付属のコネクタに付いている線は、
赤がGND、黒が+5Vなので注意

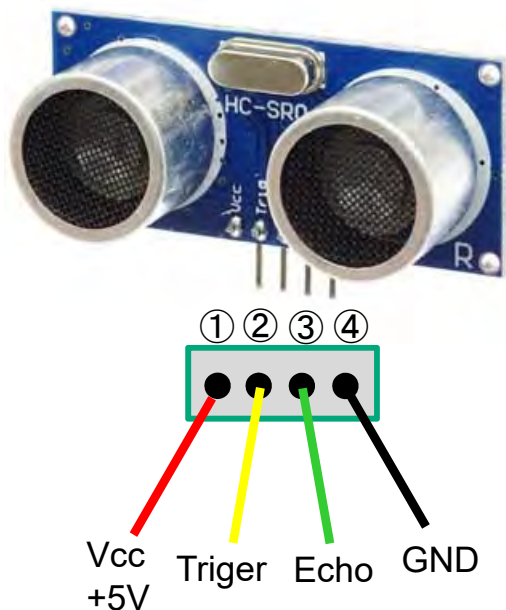


この距離センサーの出力はアナログ電圧となる。上記のグラフから、ピークは約20cmの距離で出力電圧が2.75Vとなる。ArduinoのA/Dコンバータは10ビットのため、+5Vは1023の値となる。したがって、アナログで読み取った値は、 $1023 / 5 \times 2.75 = 562.65$ となる。

超音波センサー

- 超音波センサーは、ETロボコンでも使われています。目玉のようなものが2つありますが、1つはスピーカーでもう一つはマイクです。
- スピーカーから超音波(40KHz)を出し、超音波が帰ってくる時間で距離を測定します。
- 空気中で音の伝わる速度は、0°C で331.5m/秒、1°C 上昇するごとに 0.6m/秒ずつ増加します。
- 15°Cの場合は340.5m/秒になります($331.5 + 15 \times 0.6 = 340.5$)。
- したがって、正確に測定するためには温度による補正が必要になります。

超音波距離センサー
HC-SR04



```
#define ECHO_PIN 2 // Echo Pin  
#define TRIG_PIN 3 // Trigger Pin
```

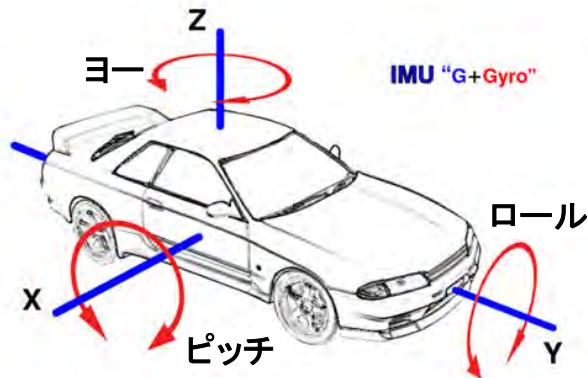
```
digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH); // 超音波を出力  
delayMicroseconds(10);      // 10usの間、超音波を出力  
digitalWrite(TRIG_PIN, LOW); // 出力を停止
```

```
Duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH); // 反射音の入力
```

pulseIn関数はHIGHにした瞬間から時間の計測を始め、指定したピンに入力されるパルスがLOWになるまでの時間を計測して返します。

ジャイロセンサー

- ジャイロセンサーは、角度を検出する
 - ジャイロセンサーは回転させることで反応、移動では反応しない。
 - ジャイロセンサーは、ETロボコンの走行体にも傾き検出で使用
- 加速度センサーは、直線移動を検出する
 - 加速度センサーは移動することで反応、回転では反応しない。
- 最近のセンサーは、3軸が検出できるのが多い。



参考URL:<http://www.grid.co.jp/img/IMU-2.jpg>



Arduinoで使用するの
は難しい

3軸ジャイロセンサーモジュール
L3GD20 (3.3V I2C/SPI 仕様)

2軸だが、+5Vで動作し、
アナログ出力のためArduinoで
使用



2軸 圧電振動ジャイロモジュール
(2.7V~5V アナログ出力)

コリオリの力
回転している物体を移動したときに生じる力



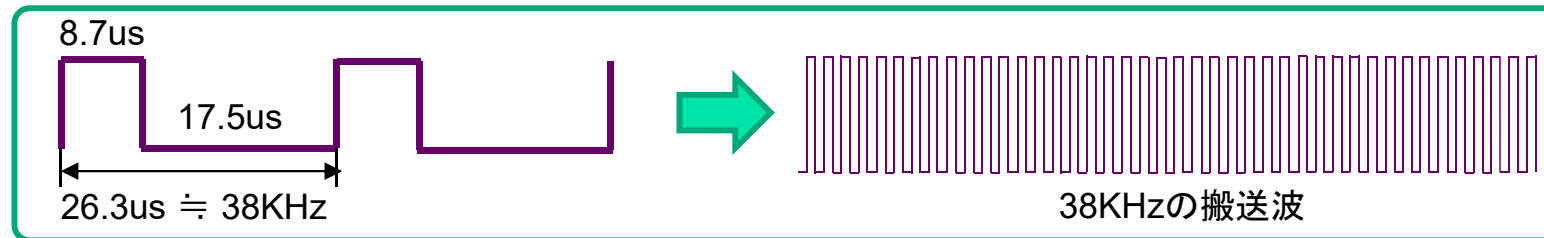
地球ゴマ



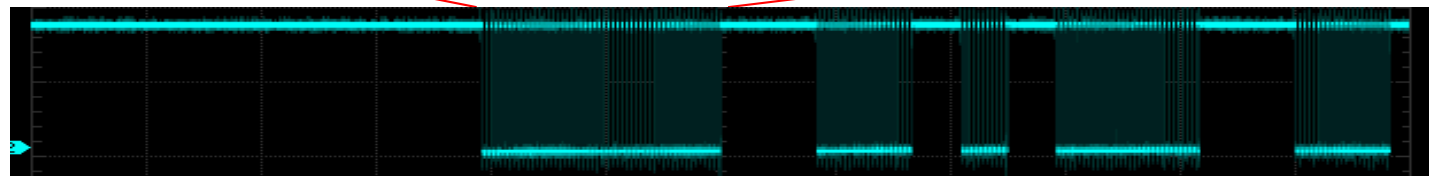
フィンガー スピナー

赤外線リモコンの信号

- 赤外線リモコンは、38KHzの周波数を搬送波としている
 - その38KHzのデューティ比は9-17で、50%-50%ではない → デューティ比は後ほど説明

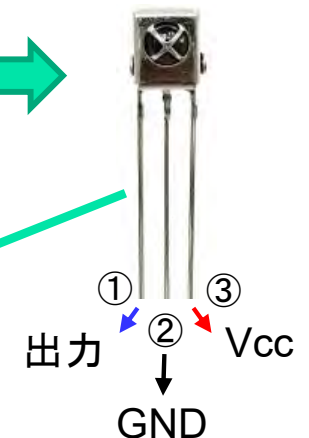


実際の
波形



波形参考URL: <https://qiita.com/nanbuwks/items/57e6a6112d0459ca7810>

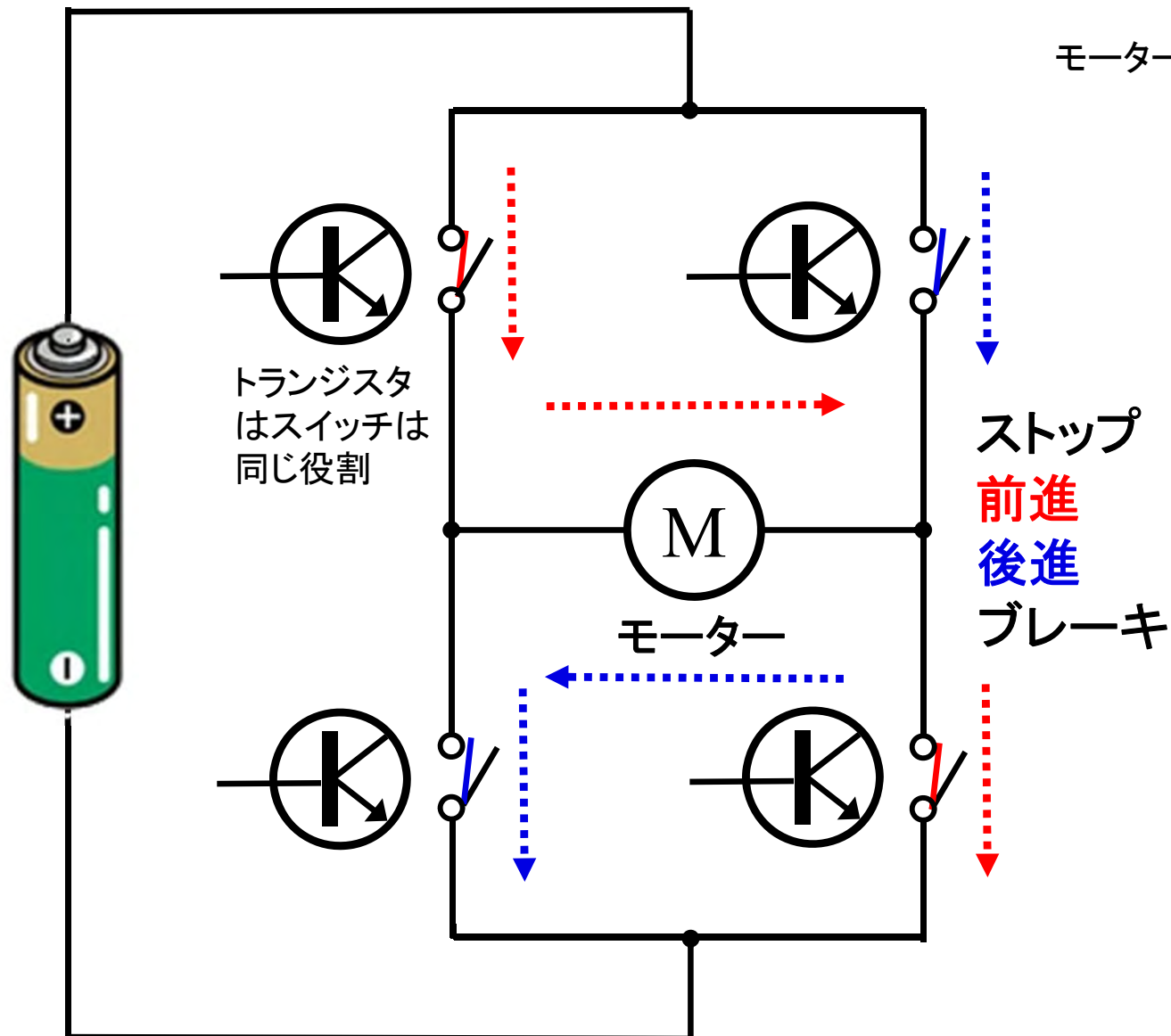
赤外線受信モジュールの出力



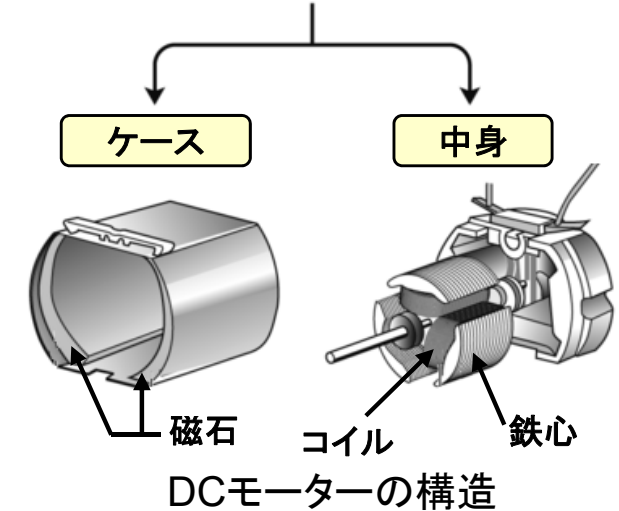
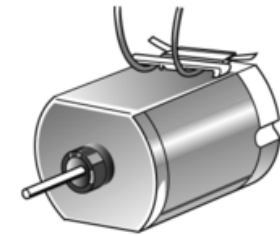
- 赤外線リモコンは、次の3種類のデータフォーマットがある。
 - NEC方式 日立、東芝、三洋、NECなど
 - 家電製品協会 パナソニック、シャープ、ヤマハなど
 - SONY方式 SONY、JVCなど
- フォーマット分析は面倒。生データを読み込みそのまま出力するのが簡単
 - [GitHubに Arduino用の IRremote というライブラリがあるので参考になります](#)

赤外線受信モジュール
OSRB38C9AA
(2個入りで100円)

DCモーターの制御の原理



モーター制御用IC
TA7291

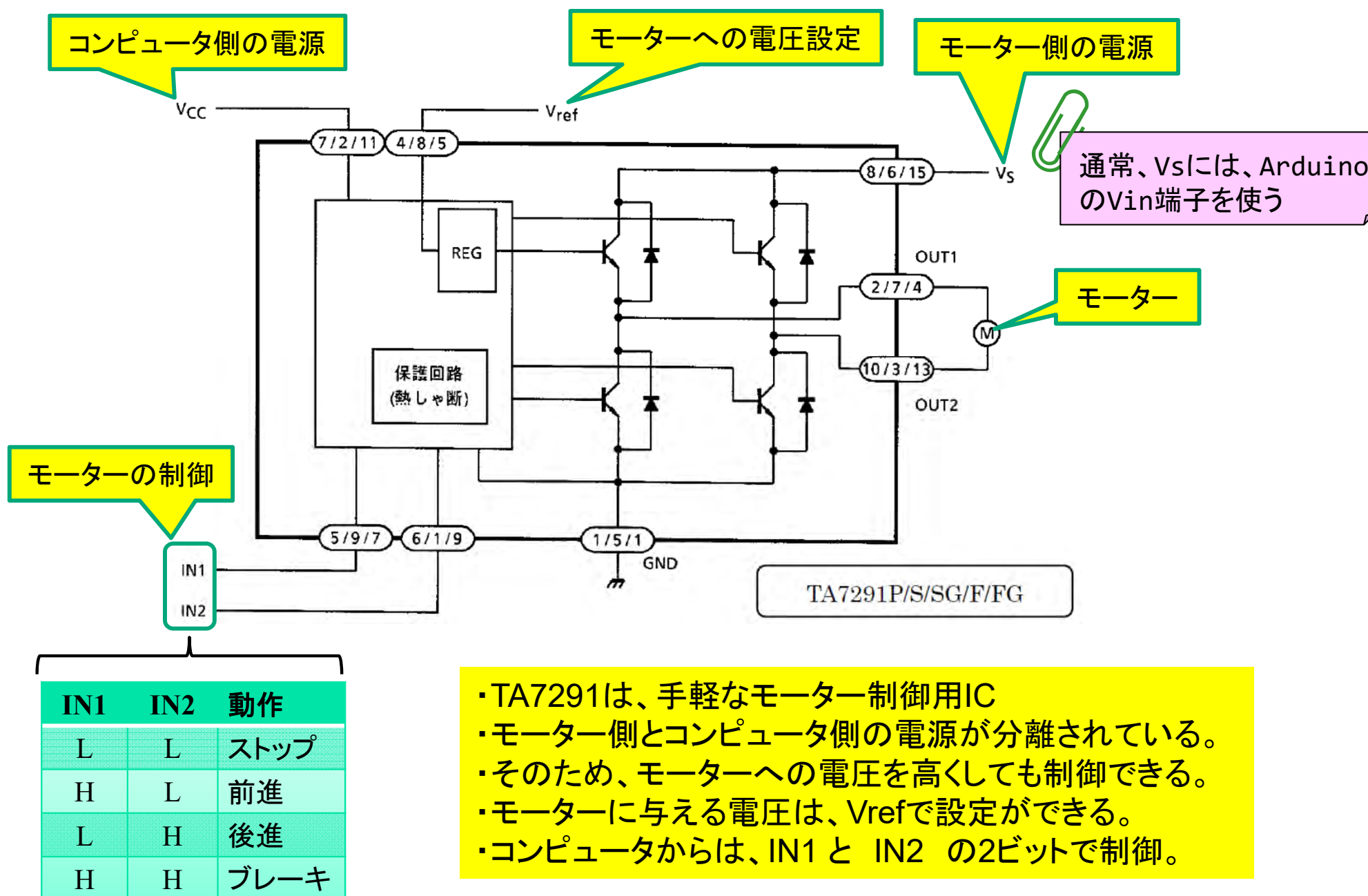


モーターの
仕組みビデオ
(2分7秒)



参照URL:<https://www.mabuchi-motor.co.jp/product/knowledge/structure/motion.html>

TA7291の内部と信号線の役割



TA7291を使うときの注意



- モーターの回転方向は、IN1とIN2の2ビットで制御する。
 - モーター用の電源は、Arduinoの外部電源入力(DCジャック)に接続する
 - 一般的には、外部電源には、+7.2～+12Vのニッカド電池やリチウム電池を接続する
 - ◆ Arduinoスペック上、外部電源入力は+7V以上必要
 - 外部電源入力された電源は、ArduinoのVin端子に保護回路を通して出力される
 - 実際のモーター制御は、Vin端子からの電源を使用する。
 - 検討項目として、PWMによるスピード制御で、二通りの方法がある。
 - ①Vref(モーターに供給する電圧) をPWMで制御する方法。
 - ◆ 外部電源入力は+7V以上あるため、下記のようにモーターに高い電圧がかかる
- 電力は平均化されるが、ピーク電圧はVinの電圧となり、モーターへの最大電圧を超える
- ◆ RCカーなどに使う+7.2V～8.4Vで回転させるようにモーターならこの方法が良い
 - ②Vrefは固定して、IN1とIN2をPWMで制御する方法。
 - ◆ モーター制御のIN1とIN2は排他的なので、モーターには最大でもVrefの電圧を超えない
 - ◆ 最大電圧が3V程度の小さな模型用モーターなら、この方法が安全。

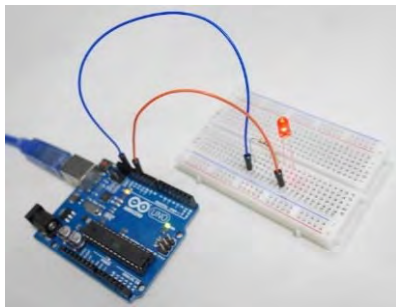
Arduino (アルドゥイーノ) とESP8266

Arduino (アルドウィーノ) コンピュータ

- Arduinoという手のひらサイズのコンピュータに、光センサとサーボを付けて、**暗くなったら旗が上がる装置**の作成(ハンダ付けなどの作業はしません)。
- Arduinoは、3,000円くらいで買える小型コンピュータ。
 - 世界中で、電子工作や実験などで使われています。
 - 多くの拡張ボード(シールドと言う)が販売されています。
 - プログラムの作成は、無料で使えるPCの開発環境があります。
 - 開発環境に多くのサンプルプログラムが用意されています。



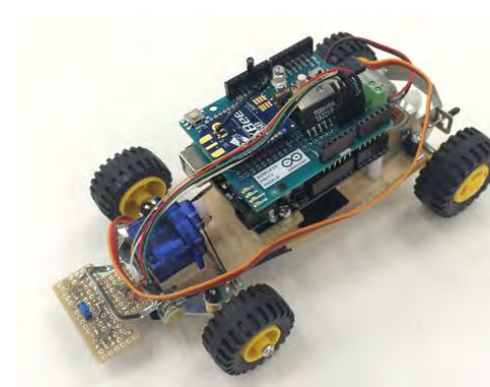
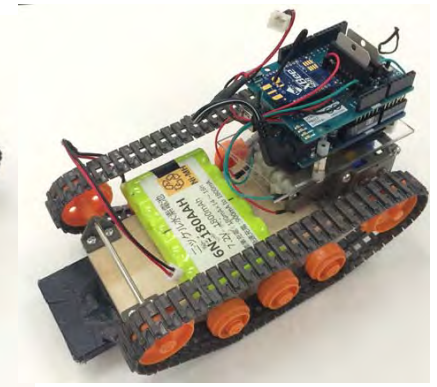
Arduinoの外観



LEDの点灯実験

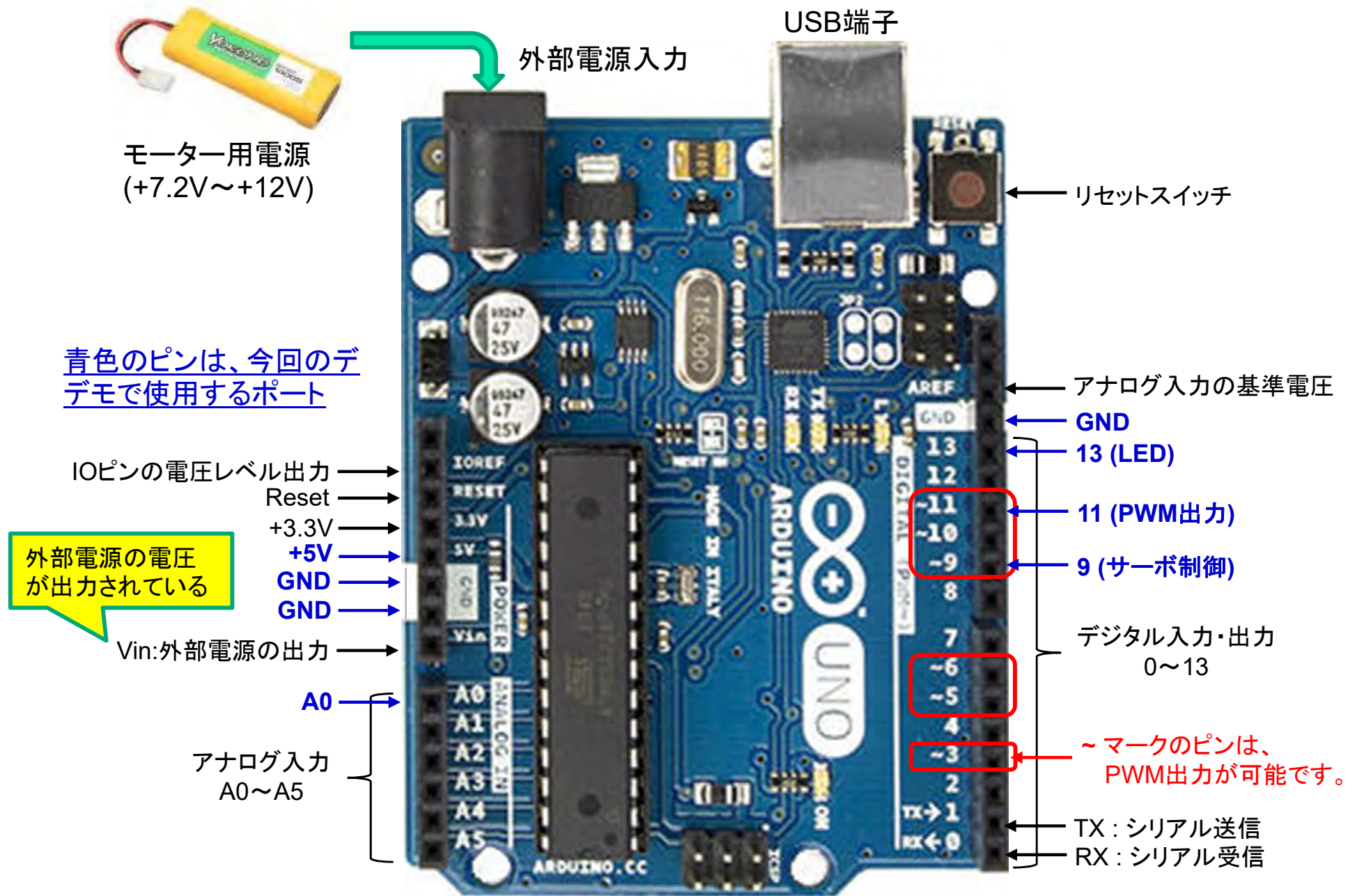


拡張ボードの積み重ねが可能

A photograph of a small, four-wheeled robot car (buggy) built using an Arduino Uno R3 board. The car has a blue motor and a black chassis. It is connected to a computer via a USB cable.

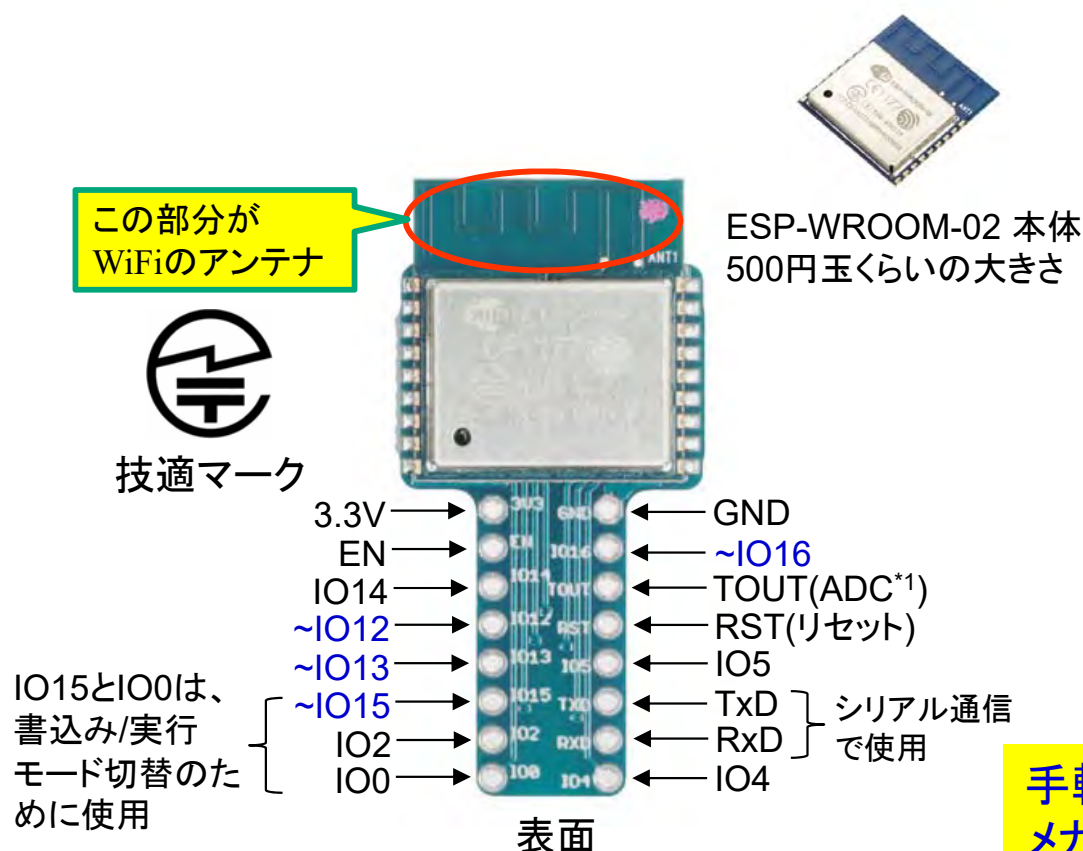
ライトレースのバギーカーとタンク

Arduino Unoのピン配置



ESP-WROOM-02 (ESP8266)

- ESP-WROOM-02は、小さすぎて直接信号を取り出すのが困難です。
- そこで、下記のようなT型ベース基板に本体を取り付け、ベース基板から信号を取り出せるモジュールが便利です。 **価格は1000円以下で購入可能。**



	Arduino Uno	ESP8266	性能比
クロック周波数	16MHz	80MHz	5倍
SRAM	2KB	50KB	25倍
フラッシュメモリ	32kB	4MB	125倍
A/D入力(10bit)	6本(0~5V)	1本(0~1V)	-
デジタル入出力	11 / 13本	6 / 9本	-
PWM出力	6本(8bit)	4本(10bit)	-

Arduino UnoとESP8266の性能比較

- ・SRAMとは、実行時に使用するメモリ
- ・フラッシュメモリとは、プログラムを格納するメモリ

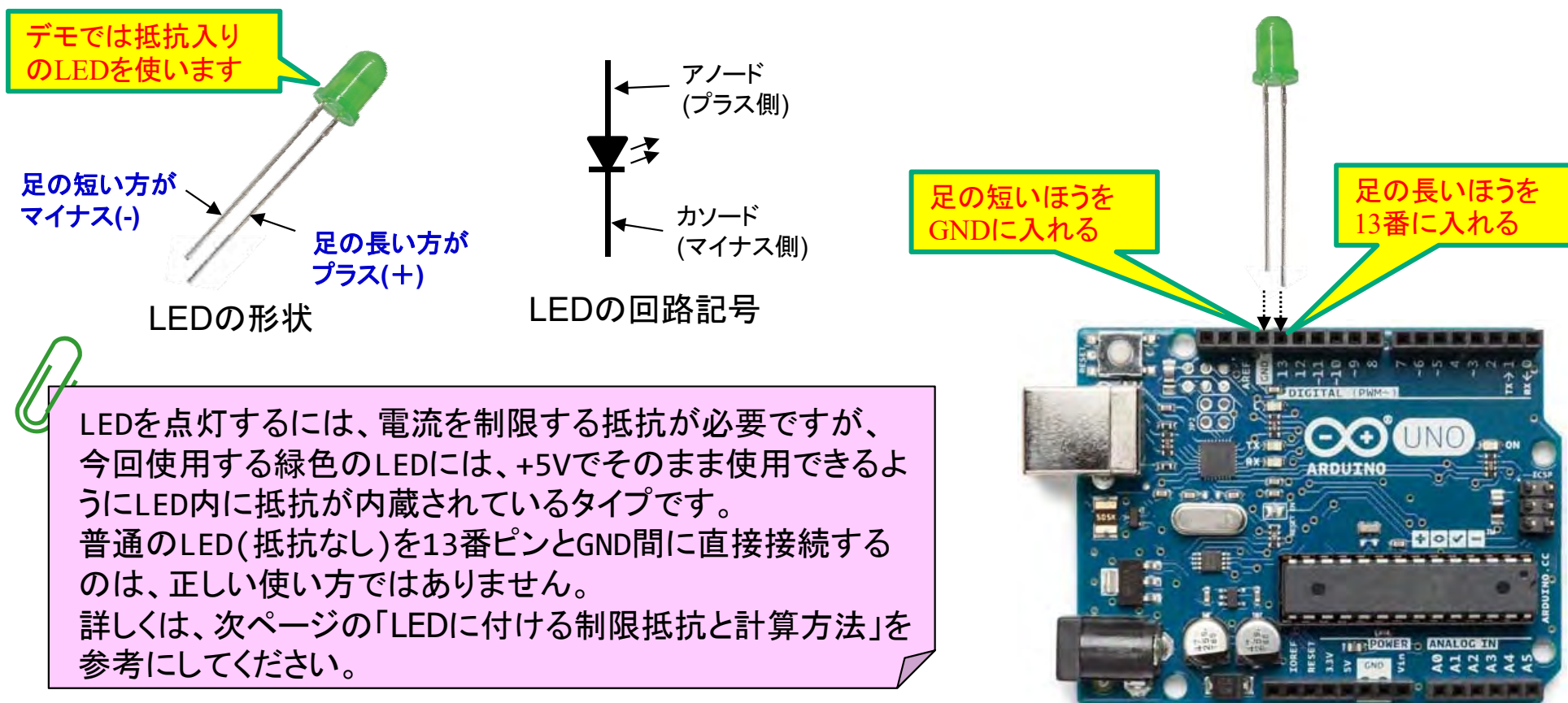
**手軽にWiFiを使うならするESP-WROOM-02。
メカ制御をするなら、Arduinoのほうが使いやすい**

*1) TOUT端子は、内部で10ビットのA/Dコンバータにつながっていて、アナログ入力ができます。しかし、ESP8266 のA/Dコンバータの最大入力電圧は、1Vです。1Vを超える電圧は、1024の値になります。

ArduinoとESPWROOM-02によるデモタイム

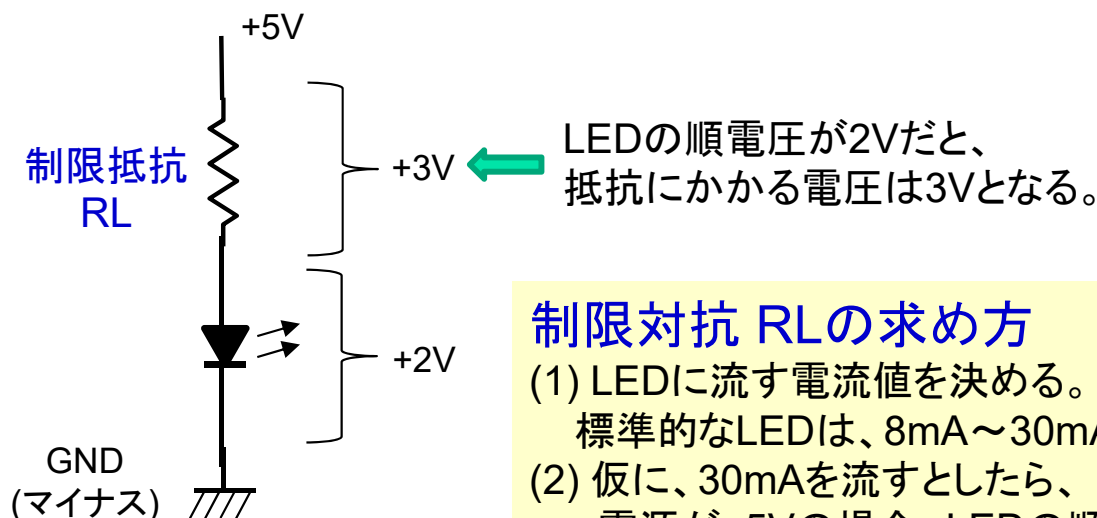
デモ1:「Lチカ」

- Lチカ とは、LEDをチカチカさせるという意味のエンジニア用語です。
 - Arduinoに接続したLEDをチカチカとプログラムで点滅させます。
 - LEDは、電圧を加えると点灯する半導体です。
- Arduinoの13ピンにLEDのプラス側を、隣のGNDにマイナス側を入れます。
 - LEDには極性(プラス、マイナス)があり、プラス側をアノード、マイナス側をカソードと言います。



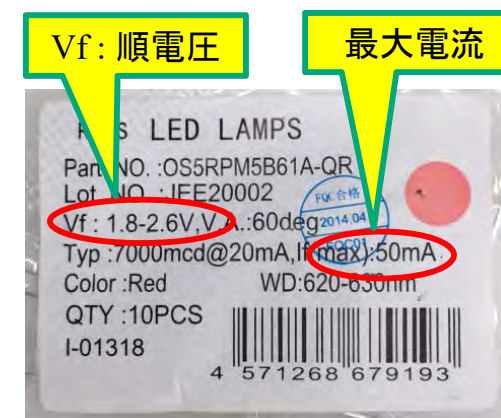
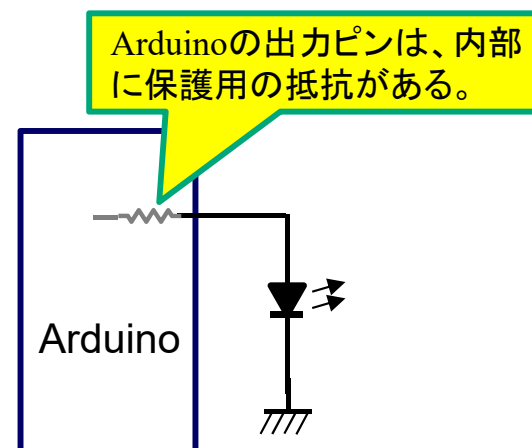
LEDに付ける制限抵抗と計算方法

- PWM出力ができるピンにLEDを接続し、可変抵抗で、LEDの明るさを変化させます。
- LEDを使うときは、電流制限の抵抗が必要です。
 - Arduinoのデジタル出力ピンは、回路の保護用に抵抗が内蔵されています。
 - 本来、LEDを使うときは、制限抵抗が必要です。
- 制限抵抗の値の計算方法
 - LEDには、順電圧というものがあり、LEDの両端に発生する電圧です。
 - LEDの順電圧は、LED毎に異なりますが、大体、1.8V～3.6V程度です。



制限抵抗 R_L の求め方

- (1) LEDに流す電流値を決める。
標準的なLEDは、8mA～30mA程度
- (2) 仮に、30mAを流すとしたら、
電源が+5Vの場合、LEDの順電圧を3Vとすると、
 $R = (5V - 2V) / 30mA = 100\Omega$



製品に記載されている仕様

最近のLEDは性能が良いため、5～10mA程度でも十分光ります。それで、電源電圧が+5Vであれば上記の計算などはしなくても、300Ω程度の抵抗を付ければ大丈夫です。

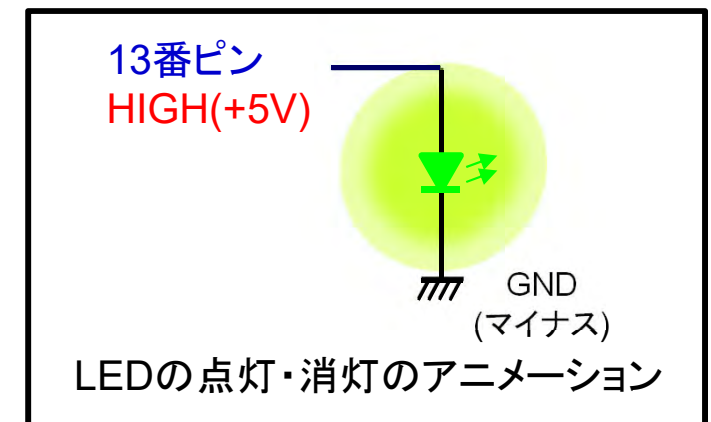
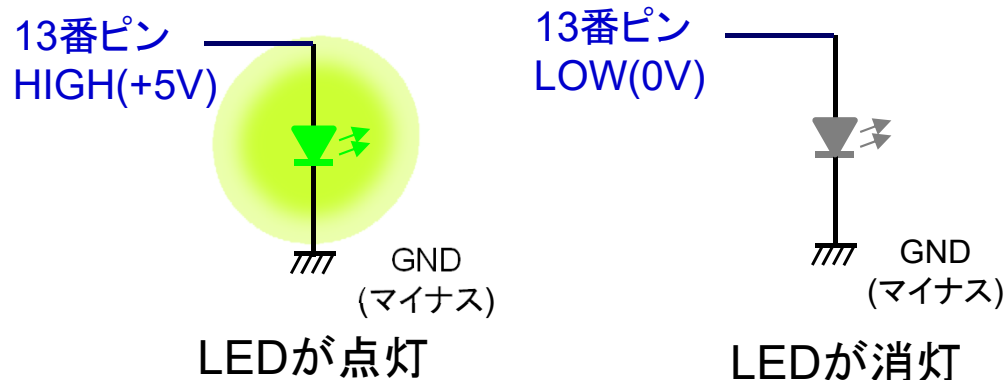
Lチカ のプログラムの説明

```
#define LED 13  ← LEDを接続したピン番号の設定

void setup() {
  pinMode(LED, OUTPUT);  ← LEDの接続されているピン(LED)を出力に設定
}

void loop() {
  digitalWrite(LED, HIGH);  ← LEDの接続されているピンをHIGHにして、LEDを点灯
  delay(1000);  ← 1000ms(1秒)待つ。この数字を変更すれば、点灯している時間の変更ができる。
  digitalWrite(LED, LOW);  ← LEDの接続されているピンをLOWにして、LEDを消灯
  delay(1000);  ← 1000ms(1秒)待つ。この数字を変更すれば、消灯している時間の変更ができる。
}
```

上記を実行すると、13番ピンに接続したLEDがチカチカと1秒毎に点滅を開始します。
Arduino 版 hello world です。



単位のお話



周波数と時間は逆数の関係

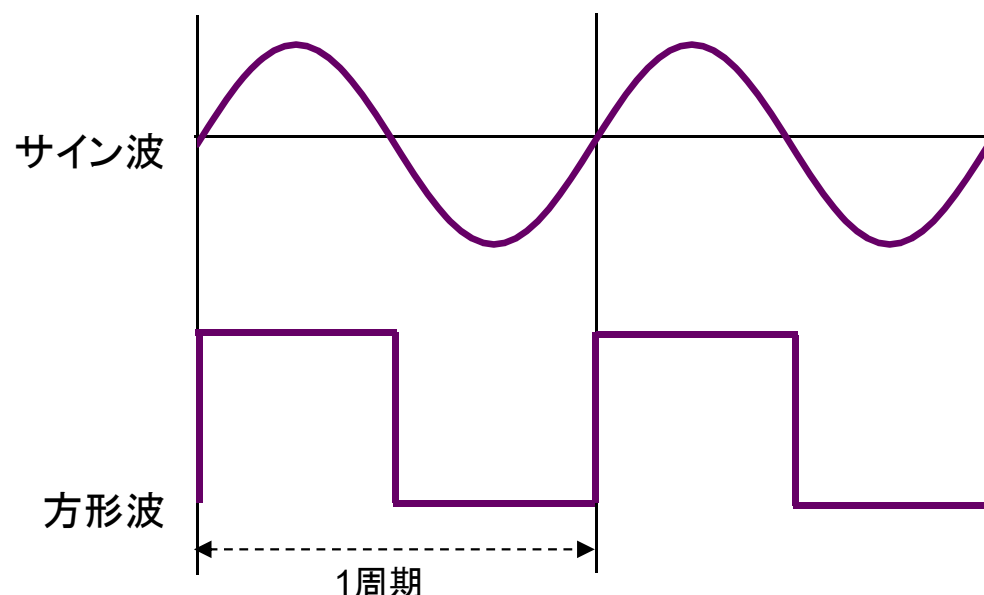
記号	読み方	数式	単位	重さ	長さ	周波数	時間	容量	濃度	金額
T	テラ	10^{12}	1兆	-	-	THz	1/ps	TB		
G	ギガ	10^9	10億	(Mt)	-	GHz	1/ns	GB		
M	メガ	10^6	百万	t	-	MHz	1/us	MB		M ^{*1)}
K	キロ	10^3	千	kg	Km	KHz	1/ms	KB		K
		10^0		g	m	Hz	s	B		
m	ミリ	10^{-3}	1/千	mg	mm	1/KHz=ms	ms	-	‰	
μ	マイクロ	10^{-6}	1/百万	μg	μm	1/MHz=μs	μs	-	ppm	
n	ナノ	10^{-9}	1/10億	ng	nm	1/MHz=ns	ns	-	ppb	
p	ピコ	10^{-12}	1/1兆	pg	pm	1/GHz=ps	ps	-	ppt	

・タバコの煙の大きさは、2～4μm
 ・髪の毛の太さは、80～120μm
 ・ウィルスの大きさは、20～970nm

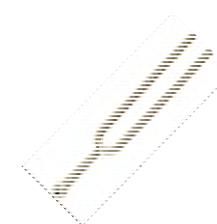
1μsで、光は300m進む
 1nsで、光は30cm進む
 1psで、光は0.3mm進む

*1) Mは、Million
 10K円=10,000円
 1M円=100万円

周波数と周期(時間)の関係



ギターなどのチューニング用音叉



440Hz (ラの音)

時報の音

ピッ、ピッ、ピッ、ポーン
440Hz 440Hz 440Hz 880Hz

周波数(Hz)とは、1秒間に何周期あるかのこと

- 1秒間に1周期であれば、1Hz
- 1秒間に100周期であれば、100Hz
- 1秒間に1000周期であれば、1KHz

周期(時間)とは、1周期の時間のこと

- 1Hzは、1s
- 100Hzは、10ms
- 1KHz(1000Hz)は、1ms

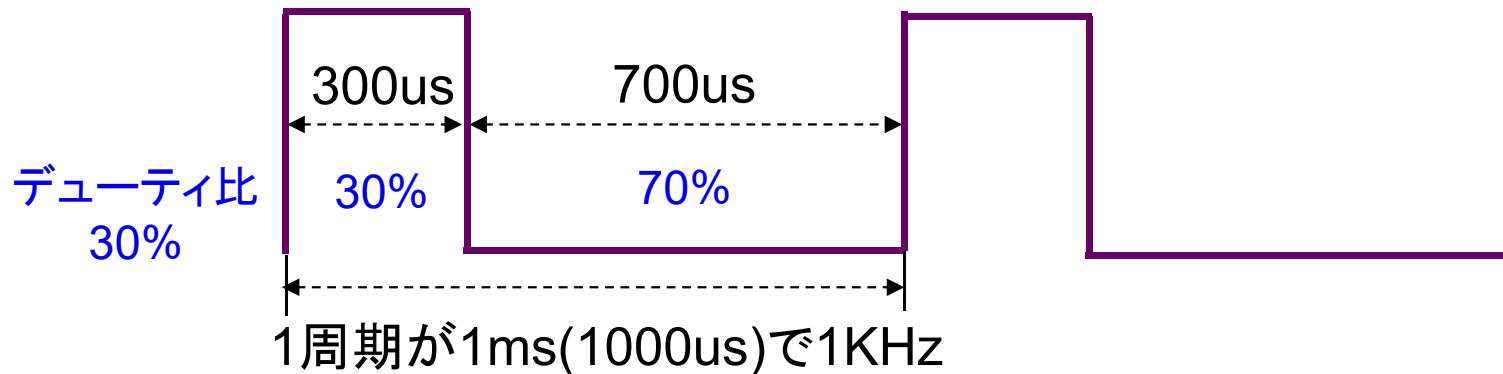
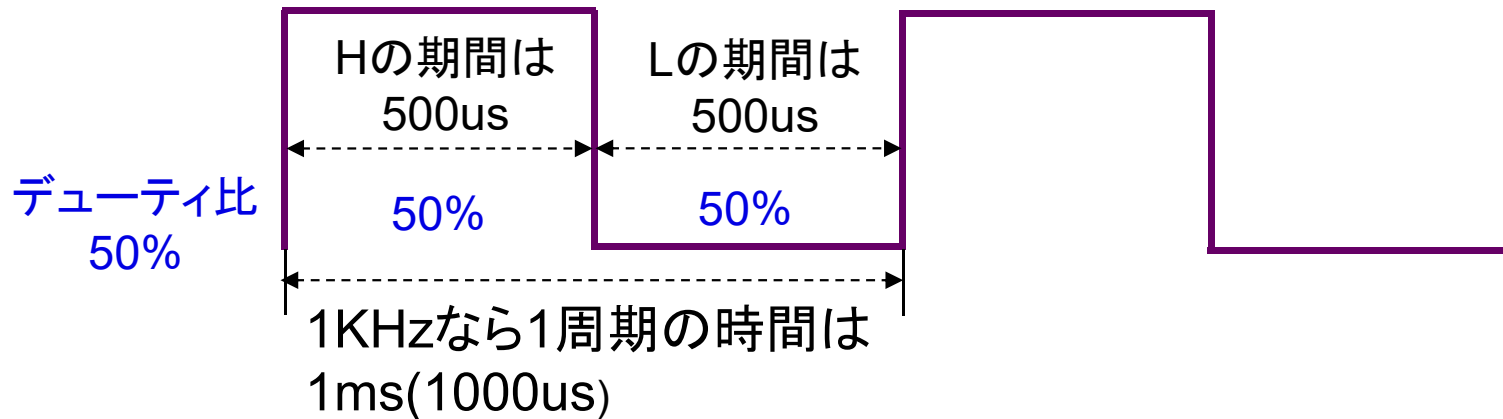
重要

周波数と周期(時間)は逆数の関係

時間 = 1 / 周波数、 周波数 = 1 / 時間、
1KHzの周期(時間)は、1 / 1 KHz = 1ms

デューティ比

- デューティ比とは、HとLの期間の比率で、一般にはHの期間で表す
 - HとLの期間が同じであれば、デューティ比は50%(デューティ比50-50とも言う)



重要

デューティ比が違って、Hの期間とLの期間の合計が周期で周波数となる
上記2つの波形の周波数は、デューティ比が異なるが1KHzで同じである。

デモ2: プログラムで時報の音を発生させる

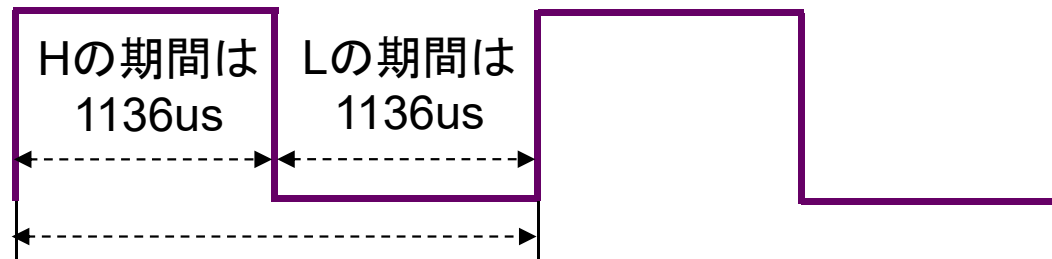
■ 時報は、440Hz(ピッ)、440Hz(ピッ)、440Hz(ピッ)、880Hz(ポー)

– 440Hzの周期は、 $1 / 440\text{Hz} = 2.273\text{ms} = 2273\mu\text{s}$

◆ ゆえに、HとLの期間の時間は、 $2273\mu\text{s} / 2$ で $1136\mu\text{s}$ になる

– 880Hzの周期は、 $1 / 880\text{Hz} = 1.136\text{ms} = 1136\mu\text{s}$

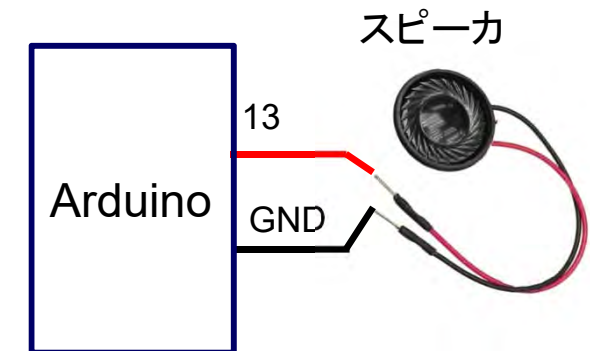
◆ ゆえに、HとLの期間の時間は、 $1136\mu\text{s} / 2$ で $568\mu\text{s}$ になる



440Hzの周期(時間)は、2273us

デューティ比50%-50%の440Hzの波形を生成するプログラム

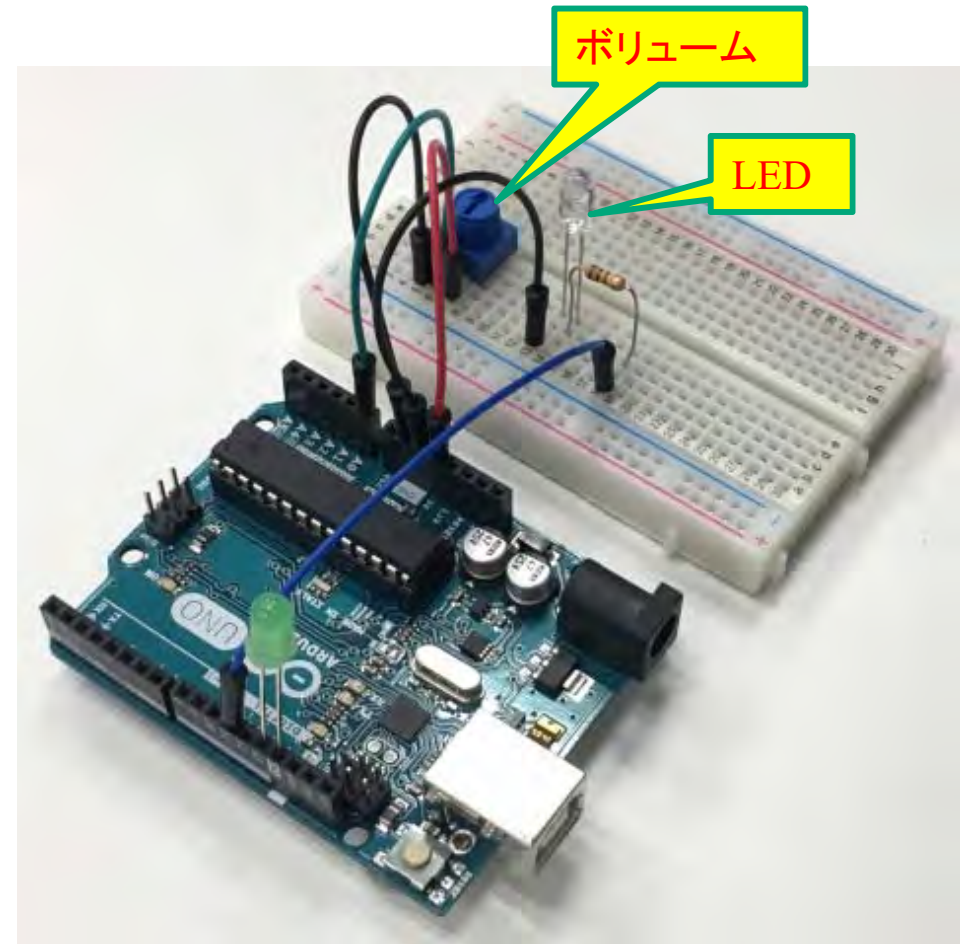
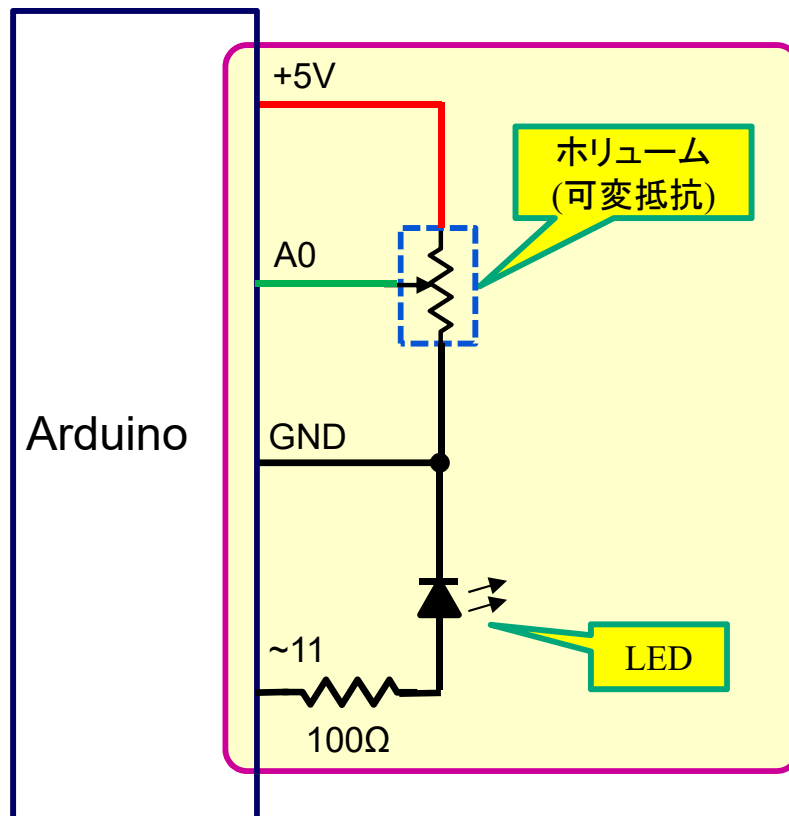
```
#define SPEAKER 13 // スピーカのポート
void loop() {
    digitalWrite(SPEAKER, HIGH); // 出力を”H”にする。
    delayMicroseconds(1136);      // H の期間を待つ
    digitalWrite(SPEAKER, LOW);  // 出力を”L”にする。
    delayMicroseconds(1136);      // L の期間を待つ
}
```



左記は、プログラムで方形波を生成する参考プログラムである。
正確な周波数の発生は、ハードウェアタイマを使った、tone()関数がある。

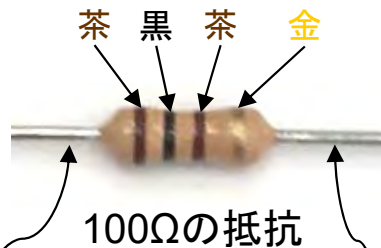
デモ3：PWM出力でLEDの明るさを変える

- アナログ信号を読み取り、その値に応じてPWMでLEDの明るさを変える。
 - アナログ入力はボリュームで0～+5Vまで変化させ、11番ピンにつなげたLEDを制御する
- ボリュームの値は 0～1023、PWMの出力は 0～255のため、値の変換が必要。
 - 単純には、ボリュームの値を4で割る → 2ビット右にシフトする。
 - `analogWrite(ポート番号, 値)`で、出力する。

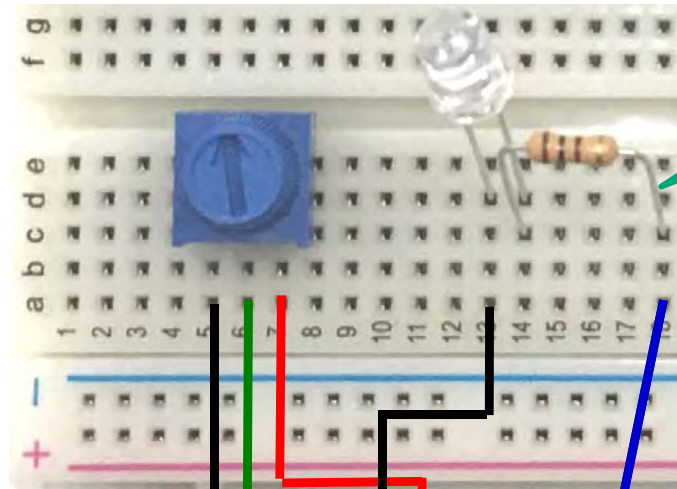


アナログ入力とPWM制御するLEDの実験回路

注) カラー抵抗の見方は、p64の「参考資料：カラー抵抗の見方」を参照してください。



抵抗の足(線)は柔らかいため、ブレッドボードに刺すとき、曲がりやすいです。できるだけ、足(線)の先端を持って垂直に刺すようにしてください。



100Ωの抵抗
c14 と c18 に接続

足の短い方が
マイナス(-)

足の長い方が
プラス(+)

d13
d14

A0 GND +5V

接続図を見て配線をすると、配線ミスが起こりやすいです。

できるだけ、回路図を見て、配線をするようにしましょう。

つまり、「**ピン番号と信号名をつなぐ**」という考えかたで配線をしてください。

アナログ入力とPWM出力のサンプル



アナログ入力(ボリュームを回す)をして、PWM出力でLEDの明るさを変える

```
int sensorPin = A0; // select the input pin for the potentiometer
int ledPin = 11; // select the pin for the LED
int sensorValue = 0; // variable to store the value coming from the sensor
```

LEDのピン番号を11に変更

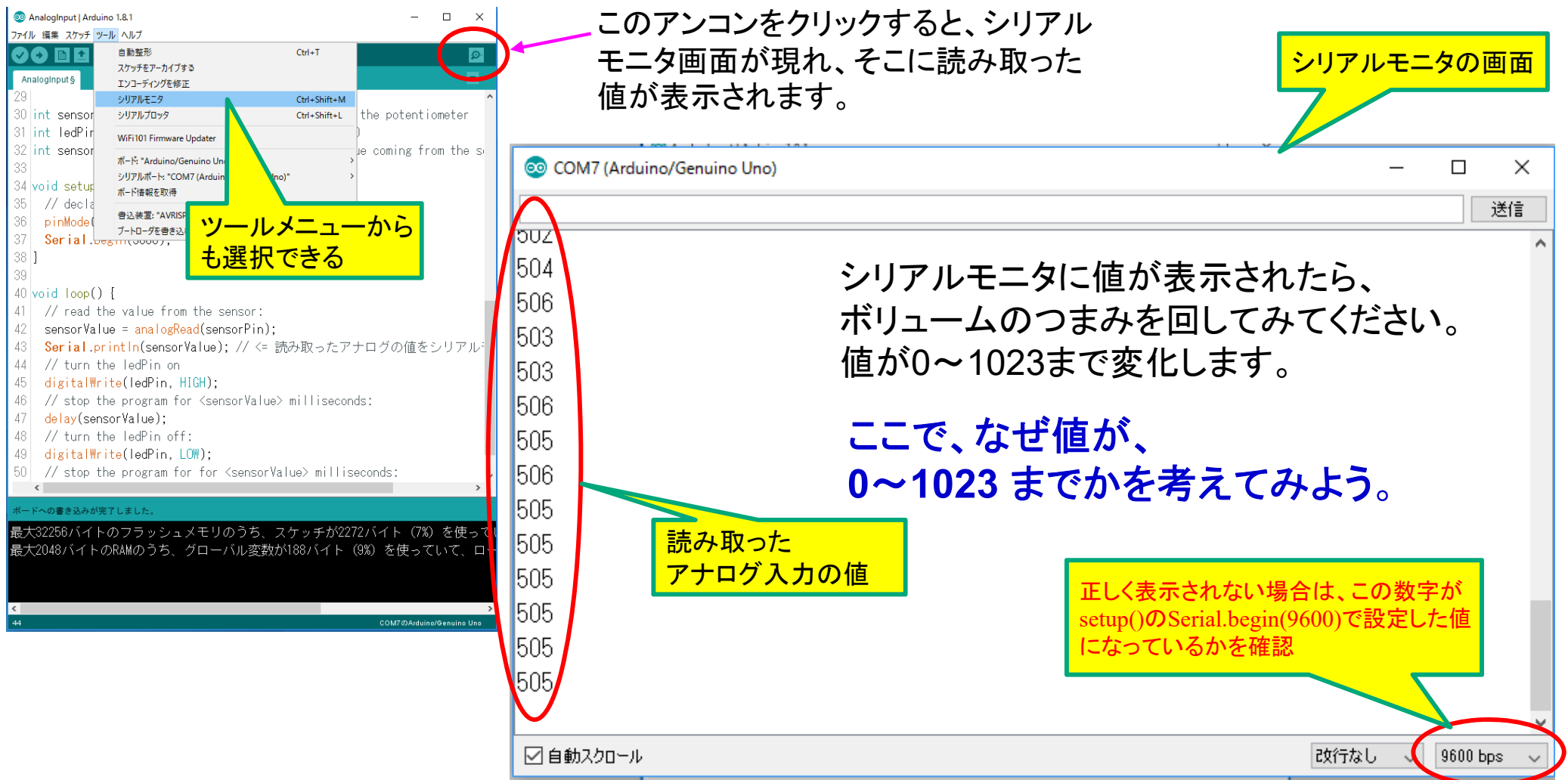
```
void setup() {
  pinMode(ledPin, OUTPUT); ← LEDのピンを出力に設定
  Serial.begin(9600); // シリアルモニタの回線を初期化
}
```

```
void loop() {
  sensorValue = analogRead(sensorPin); ← アナログ値を読み取る
  Serial.println(sensorValue); // 読み取ったアナログの値をシリアルモニタに表示する
  analogWrite(ledPin, sensorValue >> 2); ← センサの値を4で割った値をPWMとして出力
}
```

PWMの出力

アナログ入力の確認

- プログラムの書き込みが完了したら、右上の  をクリックするとシリアルモニタが表示されます ([ツール]メニューの[シリアルモニタ]でも選択ができます)。
- 右下のような画面が表われ、数字が表示されます。



このアイコンをクリックすると、シリアルモニタ画面が現れ、そこに読み取った値が表示されます。

シリアルモニタの画面

ツールメニューからも選択できる

シリアルモニタに値が表示されたら、ボリュームのつまみを回してみてください。値が0～1023まで変化します。

ここで、なぜ値が、0～1023 までかを考えてみよう。

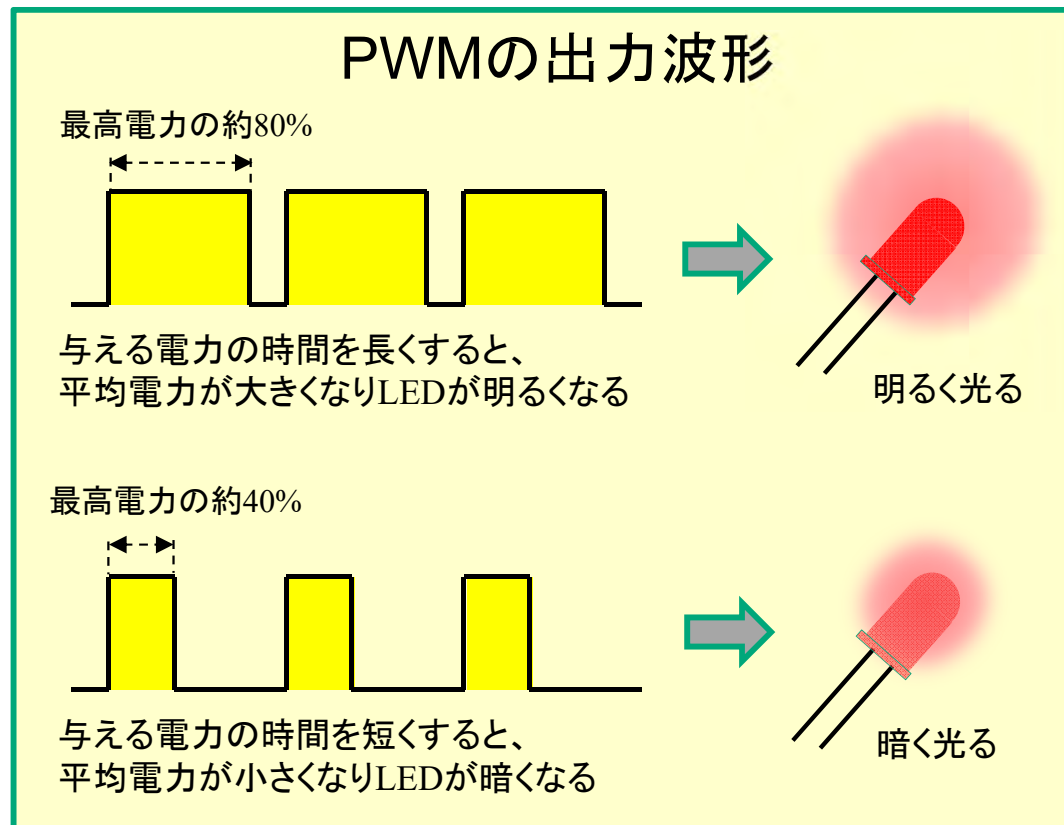
読み取ったアナログ入力の値

正しく表示されない場合は、この数字が setup() の Serial.begin(9600) で設定した値になっているかを確認

PWM (Pulse Width Modulation) 出力とは？



- PWMは、「パルス幅変調」と言い、出力するパルス幅を変えることで負荷に与える平均電力を制御し、結果的にはアナログ出力となります。
- Arduinoのデジタル出力ポートで、数字の前に「~」が付いているポートは、**analogWrite(ポート番号, 値)**で、PWM出力が可能です(値は、0~255まで)。
- PWMで制御することでLEDの明るさや、モータのスピードなどを制御できます。

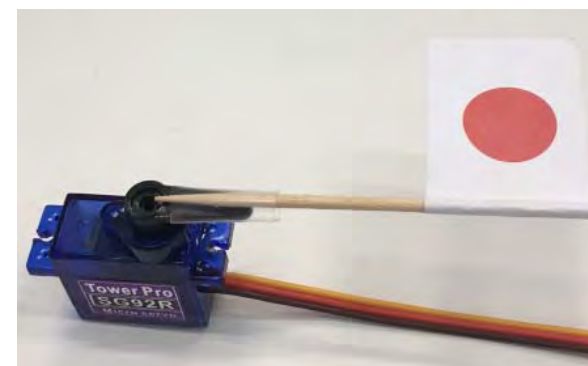
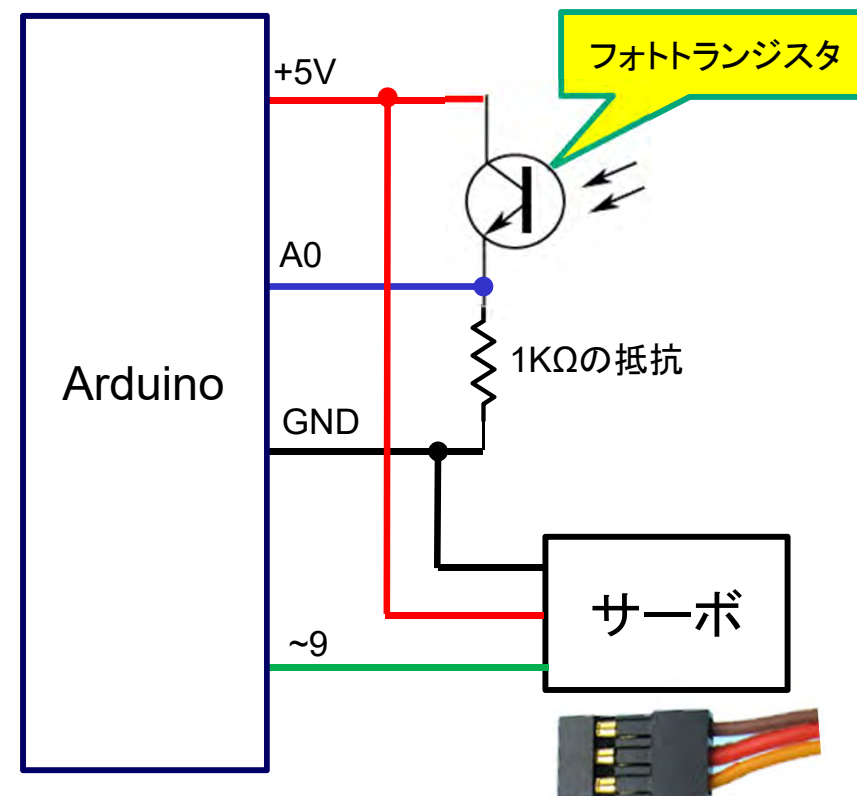
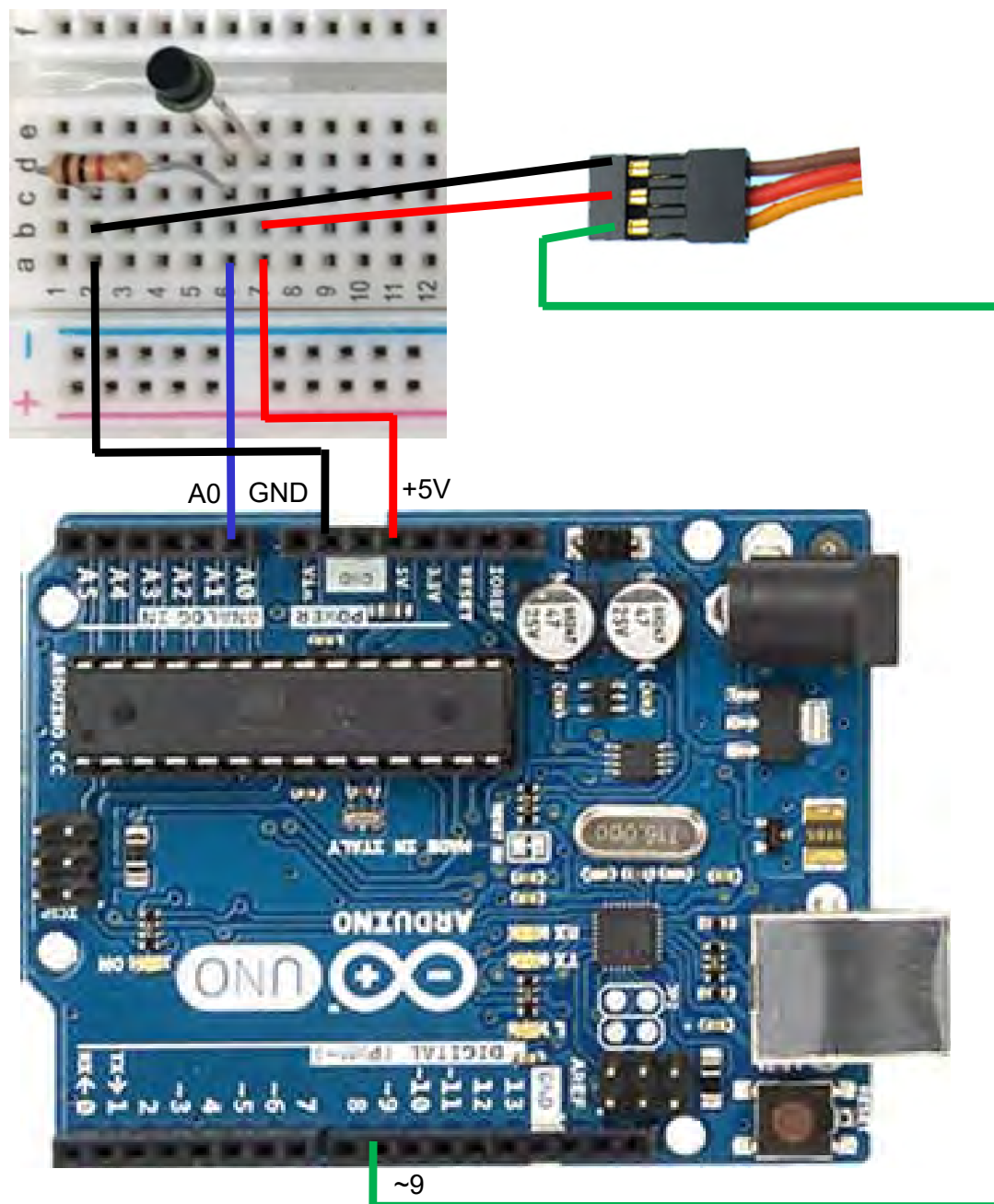


デフォルトのPWM出力の周波数
Arduino UNO : 約500Hz = 2ms
ESP-WROOM-02 : 約1KHz = 1ms

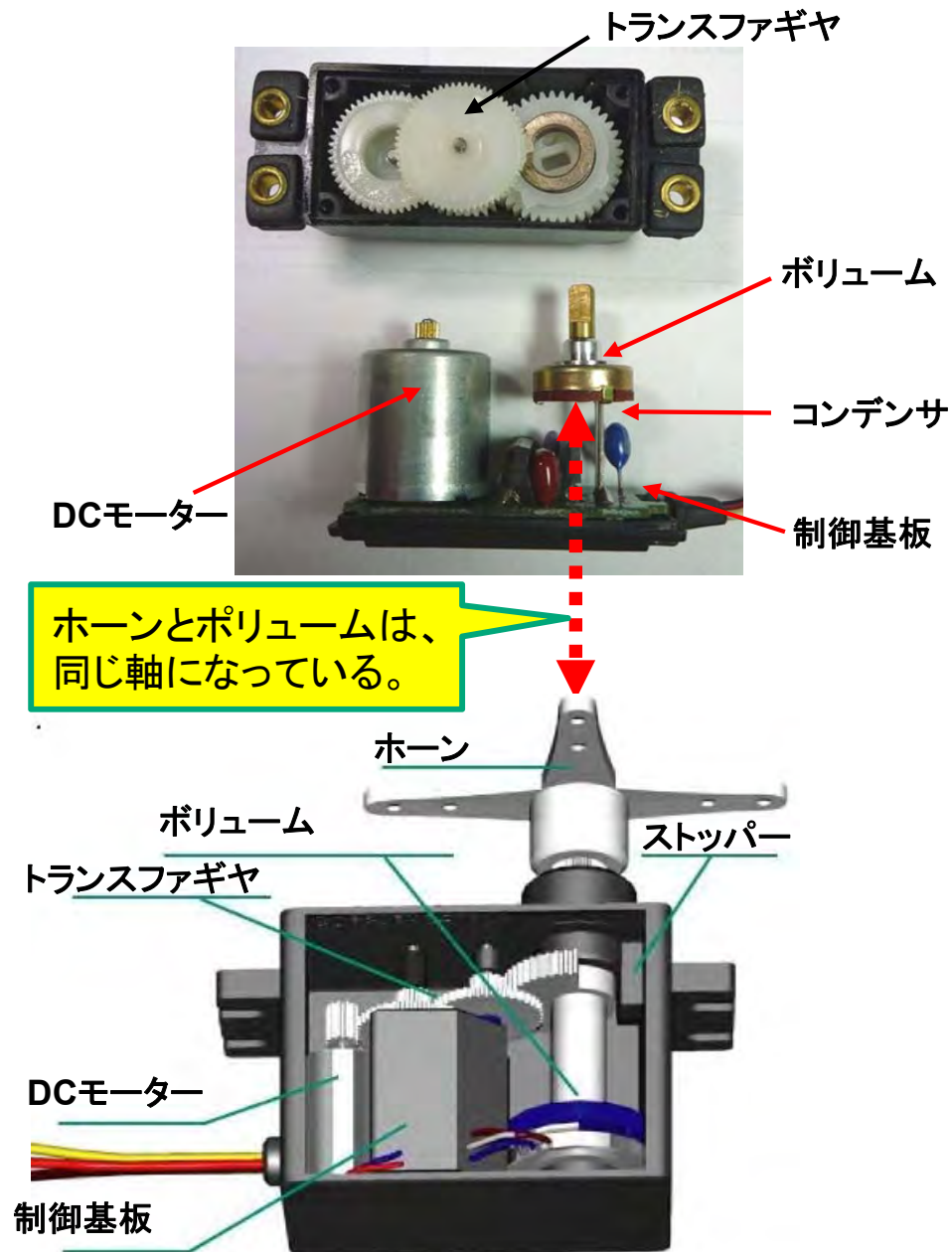


PWMの実際の波形ビデオ
(1分3秒)

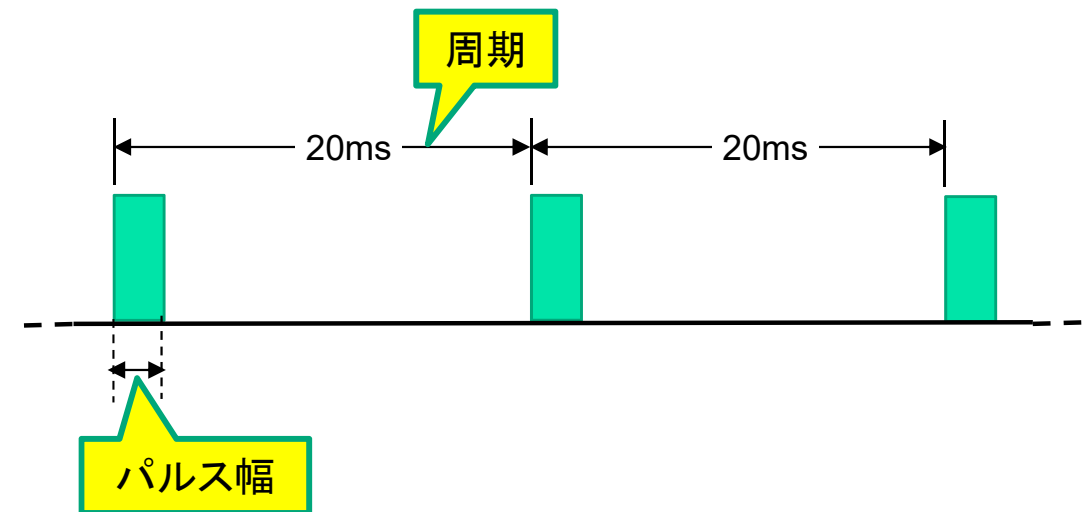
デモ4: フォトセンサで暗くなったら旗を揚げる



RCサーボの仕組み



ラジコンなどで使われているRCサーボは、送信機、あるいはコンピュータからの信号で、サーボホーンを回転させる。

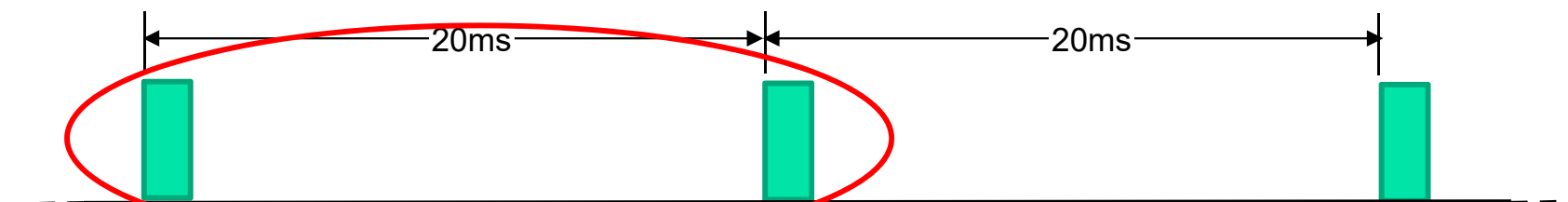


サーボに約20ms毎にパルスを与えると、パルス幅に応じてサーボホーンが回転する。

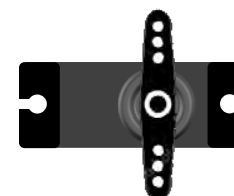
サーボは、内蔵されているボリウム(ポテンシャルメーター)とコンデンサで作出すパルスと受け取ったパルス幅が一致するまでモーターを回転させ、一致したらモーターが停止する。
サーボホーンは、0度～180度まで回転する。

参考URL: <http://www5b.biglobe.ne.jp/~YASUSI/gallery/electronics/050820/050820.htm>

サーボの動作



左に回転



ニュートラルの位置



右に回転

暗くなった旗が上がるデモプログラム

```
#include <Servo.h>           // サーボのヘッダファイル

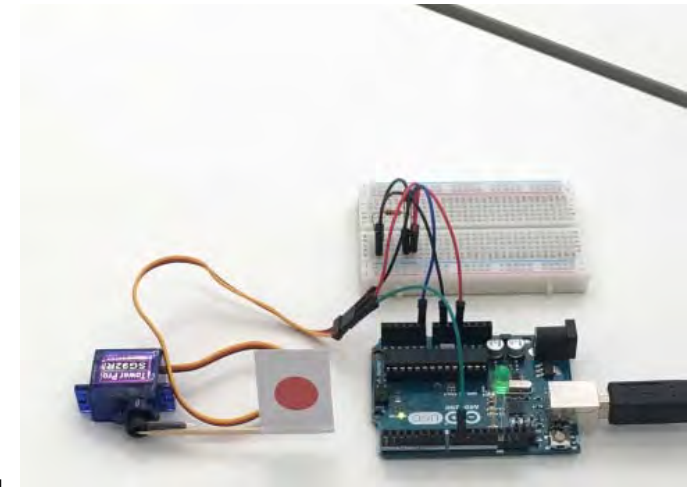
Servo myservo;               // サーボのオブジェクトの生成
#define SERVO 9              // 9番ピンをサーボ出力にする
#define SENSOR_PIN A0       // アナログ入力のピン番号

#define ZERO_ADJ 8           // サーボの0位置の値
#define DARK_VAL 40          // 暗さ判定の値
#define BRIGHT_VAL 10A0     // 明るさ判定の値

void setup() {
  myservo.attach(SERVO);     // SERVOピンをサーボの出力に設定
  myservo.write(ZERO_ADJ);    // サーボを0の位置にする
  Serial.begin(9600);        // シリアルボーレートを設定
}

void loop() {
  int sensorValue;           // 読み取ったセンサの値

  sensorValue = analogRead(SENSOR_PIN); // 光センサの値を読み取る
  Serial.println(sensorValue);           // 読み取った値を表示
  if(sensorValue < DARK_VAL){            // 読み取った値が、暗くなったら、
    myservo.write(ZERO_ADJ+90);           // サーボを90度回転させる
  }else if(sensorValue > BRIGHT_VAL){     // 読み取った値が、明るくなったら、
    myservo.write(ZERO_ADJ);              // サーボを0の位置にする
  }
}
```



デモ5: ESP-WROOM-02で自分のスマホにメールを送る

ESP-WROOM-02の動作電圧は、3.3Vです。そのため、サーボなどは動作しません。

窓に付けて防犯として



郵便受けに



検出用
マイクロスイッチ



乾電池
+4.5V~+6V



電池は、4本6Vでも可

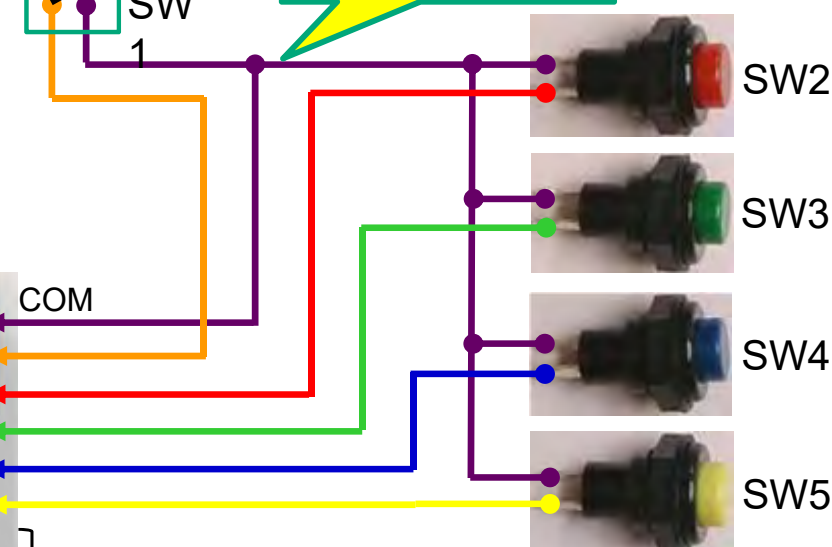
COMは、すべての
スイッチに共通



ESPWROOM-02開発ボード



IoT 8ch たいいまボタン



SW6~SW8をつなぐ