

【心理学系】

自作測定機器を用いたバイオフィードバック

長野祐一郎

文京学院大学人間学部

1. はじめに

近年、Arduino等の安価なマイコンを用いた電子工作が広く普及している。これらを利用し、バイオフィードバック装置を自作し、利用する方法を紹介する。マイコンの多くはAD変換機能を持っているため、さまざまなセンサーを接続することで測定装置として利用可能である。Sparkfun社 (<https://www.sparkfun.com/>) に代表されるホビーエレクトロニクスディストリビューターからは、光センサーや加速度センサーだけでなく、さまざまな生体情報測定用小型ボードが販売されている。さらにそれらをArduinoに接続する方法や、簡易的な解析用のサンプルソフトウェアもWebサイト上で詳細に解説されているため、比較的短時間で導入可能である。マイコンは、センサーを読み取るだけでなく、LEDやスピーカー、液晶ディスプレイなどに測定結果を出力することも可能である。デスクトップ型のコンピュータとは違い、シングルタスクOSを搭載しているため測定値のリアルタイム処理が可能であり、即時フィードバックを必要とするバイオフィードバックに適している。また、センサー、コンピュータ、フィードバック部品を、比較的コンパクトかつ低価格で構成可能であるため、多数の機器を導入しやすい利点もある。

2. 本稿で扱うバイオフィードバック装置の概要

本稿でフィードバック対象とする生理指標は、指先部位より測定した皮膚温とする。指先や足裏などの無毛皮膚には動静脈吻合が豊富に存在し、放熱器官としての役割を果たしている [1]。これらの血管組織は、交感神経活動の亢進により血流を抑制し、同じく鎮静により血流を増強する。このように末梢循環活動は精神的負荷を鋭

敏に反映する性質があるため、古くからバイオフィードバックの対象とされてきた経緯がある。末梢循環活動の測定方法には、指先容積脈波測定、レーザードップラー方式の血流測定、サーモグラフィーなどさまざまな手法があるが、指先部位に温度センサーを直接貼り付ける測定法は、コストの低さや、その変化の理解しやすさにおいてアドバンテージがある。本稿では、バイオフィードバックの初歩的なプログラムを学ぶ題材として、もっとも簡易に測定可能な末梢皮膚温を用いる。

本稿で作成するバイオフィードバック装置の概要を図1に示した。バイオフィードバックの中核となるマイコンにはArduinoUNOを用いた。ソフトウェアの作成にはWindows版Arduino開発環境1.8.13を用いた。皮膚温センサーはLM35DZ (Texas Instruments製) を、聴覚フィードバックはブレッドボード用モノラルスピーカーを、視覚フィードバックはマイコン内蔵RGBLEDモジュール (秋月電子製) をそれぞれ用いた。これらの電子部品は、いずれもArduinoを用いた電子工作では頻繁に用いられるものである。なお、皮膚温センサーとRGBLEDに関しては、白赤黒3芯並列線 (協和ハーモネット製) とピンヘッダー (Useconn Electronics製) をはんだ付けし、Arduinoに接続できるように加工した。Arduinoと各電子部品を接続する方法を表1にまとめた。ArduinoUNOおよび開発環境の基本的な使用方法については、入門用書籍「Arduinoをはじめよう」にわかりやすく解説されている [2]。

3. バイオフィードバックプログラム作成の手順

測定およびフィードバック処理を行うマイコンを起点として考えると、バイオフィードバックシステムには入力と出力が存在する。センサーによって皮膚温を取得す

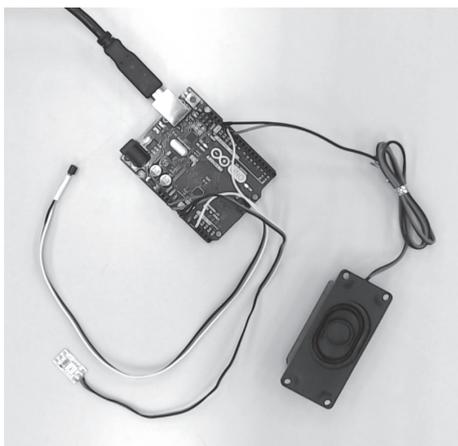


図1 本講習会で解説されたバイオフィードバック装置の概要

表1 Arduino と電子部品の接続方法

電子部品	端子	Arduino
皮膚温センサー	VS	5 V
	GND	GND
	VOUT	A0
スピーカー	VDD	12
	GND	GND
RGBLED	VDD	3.3 V
	DI	13
	GND	GND

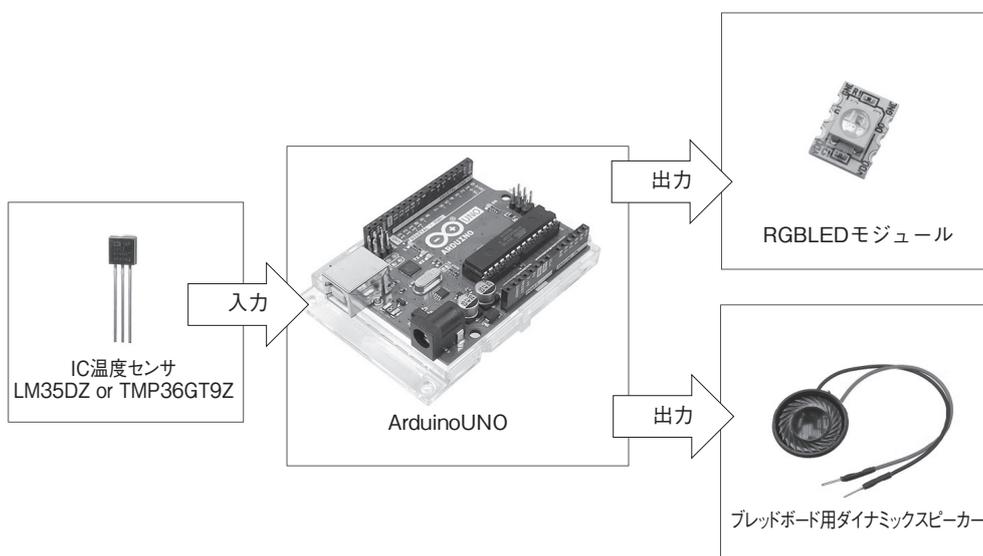


図2 バイオフィードバック装置の構成

る部分が入力であり、変化を視聴覚で使用者に知らせる部分が出力である(図2)。マイコンを用いたプログラムを行う際は、各ハードウェアの動作を検証するシンプルなプログラムを複数作成し、それらを徐々に統合し、システム全体を構築する方法が有効である。各ハードウェアやソフトウェアライブラリには相性があり、最初からすべての機能を統合したプログラムを作成すると、トラブルが生じた際に原因の特定が困難になるためである。

4. 視聴覚フィードバック部分の作成

図3は、聴覚フィードバック部分に該当するプログラムであり、デジタルピンの12番から、500 Hzと1000 Hzの音を1秒間隔で交互に発生させている(6~10行目)。音声発生部分はloopの中に入っているため、繰り返し実行される。

図4はRGBLEDを、赤緑青の順で点灯させるプログラムである。RGBLEDの制御には、Adafruit NeoPixelライブラリ、バージョン1.10.0を使用した。プログラム冒頭でデジタルピンの13番を制御用に使うこと、LEDの数が1個であることを定義し、5行目でAdafruit_NeoPixelクラスをインスタンス化している。さらにsetup関数で初期化を行い、loop関数でLEDの点灯を処理している。LEDを点灯させるには、pixels.clear→pixels.setPixelColor→pixels.showの順でコマンドを実行する必要がある。色の設定はpixels.Color(R,G,B)の形式で赤、緑、青、各色の強さを0~255で指定する。

図5は、図3および図4で解説した視聴覚フィードバック機能に、皮膚温測定プログラムを追加し、測定した皮膚温を視聴覚でフィードバックできるようにしたものである。冒頭6行目では、皮膚温を測定するための変数をdouble形式で定義している。mvはデジタル変換し

```

1 //スピーカーから500Hz,1000Hzの音を表示
2 void setup() {
3 }
4
5 void loop() {
6   tone(12, 500, 100); //500Hz 100ms
7   delay(1000); //1000ms停止
8
9   tone(12, 1000, 100); //1000Hz 100ms
10  delay(1000); //1000ms停止
11 }

```

図3 500 Hz および 1000 Hz の音を発生させるプログラム

```

1 //カラーLEDを用い、赤・緑・青色を点灯
2 #include <Adafruit_NeoPixel.h>
3 #define PIN 13 //制御用ピン
4 #define NUMPIXELS 1 //LEDの数
5 Adafruit_NeoPixel pixels(NUMPIXELS, PIN, NEO_GRB + NEO_KHZ800)
6
7 void setup() {
8   pixels.begin(); //LEDを初期化
9 }
10
11 void loop() {
12   pixels.clear();
13   pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(20, 0, 0)); //赤
14   pixels.show();
15   delay(1000); //1000ms停止
16
17   pixels.clear();
18   pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(0, 20, 0)); //緑
19   pixels.show();
20   delay(1000); //1000ms停止
21
22   pixels.clear();
23   pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(0, 0, 20)); //青
24   pixels.show();
25   delay(1000); //1000ms停止
26 }

```

図4 RGB LED を点灯させるプログラム

た情報を mv に換算するための変数, temp0, temp1, tempd は, 1 秒前の皮膚温, 現在の皮膚温, 1 秒間で生じた皮膚温の変化量が格納される。フィードバック時は, tempd によりフィードバック音や LED の色が決まる。本プログラムは 1 秒間にできる限り多くのサンプルを行い, その平均値を測定値とすることで測定精度を高めている。7~8 行目の sum, average, t, t0, cnt は, 平均値を算出するための変数となる。マイコンの動作開始時に 1 回だけ実行される setup (10~15 行目) では, シリアル通信や RGBLED の初期化の他, 測定精度を向上させるため, 参照電圧を 1.1V に変更している (12 行目)。マイコン起動中繰り返し実施される loop 部分 (17~52 行) では, アナログピン A0 からの AD 変換と変換値の足し込みが行われ (21~22 行目), 1 秒毎に平均値の算出,

フィードバック等の処理が実施される (23~51 行目)。30~32 行目では, 変化方向 (dir) と変化の強さ (mag) が判断され, 視聴覚フィードバック部分 (34~43 行目) に反映される。皮膚温上昇時 LED の色は赤, スピーカーの音は 500 Hz でフィードバックが行われる。下降時 LED の色は青, 音声は 1000 Hz となる。聴覚フィードバックは, 変化方向に応じて 2 種類の音が鳴るだけであるが, LED については変化量に応じて光る強さが変化する。45~48 行目は, 皮膚温や変化量をシリアル通信で PC に送信している。PC 側で Arduino 開発環境のシリアルモニタを用い, これらの値を記録することで, バイオフィードバック訓練の様子を記録することができる。

皮膚温に代表される末梢循環活動のバイオフィードバックでは, フィードバック情報への注意集中が皮膚温

```

1 //皮膚温を視聴覚でフィードバック
2 #include <Adafruit_NeoPixel.h>
3 #define PIN 13
4 #define NUMPIXELS 1
5 Adafruit_NeoPixel pixels(NUMPIXELS, PIN, NEO_GRB + NEO_KHZ800
6 double mv,temp0,temp1,tempd;
7 double sum,average;
8 long t,t0,cnt;
9
10 void setup() {
11   Serial.begin(115200); // シリアル通信の初期化
12   analogReference(INTERNAL); //参照電圧を1.1vに設定
13   cnt=sum=0;
14   pixels.begin(); //LEDを初期化
15 }
16
17 void loop() {
18   t0=t;
19   t=millis(); //現在時刻をms単位で取得
20   mv = (double)1100/((double)1024 * analogRead(0)); //デジタル値
21   sum=sum+mv;
22   cnt++;
23   if(t0/1000 !=t/1000){ //1秒(100ms)毎に平均算出
24     average=sum/(double)cnt; //平均を計算
25
26     temp0=temp1; //前回の温度を保存
27     temp1=average*0.1; //電圧を温度に変換
28     tempd=temp1-temp0; //温度変化量を算出
29
30     int mag,dir; //変化の程度(mag)と方向(dir)
31     if(tempd>0){mag=abs(tempd*100); dir=1;} //温度上昇時
32     if(tempd<=0){mag=abs(tempd*100); dir=-1;} //温度下降時
33
34     pixels.clear();
35     if(dir==1){
36       pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(mag, 0, 0)); //温度
37       if(mag>0){tone(12, 500, 10);} //温度
38     }
39     if(dir==-1){
40       pixels.setPixelColor(0, pixels.Color( 0, 0,mag)); //温度
41       if(mag>0){tone(12, 1000, 10);} //温度
42     }
43     pixels.show();
44
45     Serial.print(temp1); Serial.print(","); //現在温度
46     Serial.print(tempd); Serial.print(","); //温度変化量
47     Serial.print(mag); Serial.print(","); //変化の強さ
48     Serial.println();
49     sum=0;cnt=0;
50     delay(10);
51   }
52 }

```

図5 皮膚温バイオフィードバックプログラム

低下を引き起こしやすく、上昇方向へ変化させることが難しい傾向にある [3]。そのため本稿で扱うプログラムではフィードバック間隔を1秒とし、フィードバック情報もできるだけシンプルにした。初めて訓練を行う際は、目を閉じて音声のみで訓練を行い、変化の大きさを知りたい時のみ開眼しLEDの色を見るといった使い方

が理想的である。フィードバック間隔を早めるには23行目の1000を500とすることで、500ms間隔とすることが可能である。聴覚フィードバックの情報量を増やしたいのであれば、37および41行目の周波数指定部分をtone(12, 500+mag, 10);などのようにすることで、皮膚温変化を聴覚情報からより詳細に知ることができるよう

になる。なお、これらの装置の作成に必要な部品の入手方法、プログラム等の情報は Web サイト (<http://protolab.sakura.ne.jp/OPPL/?p=958>) に解説動画付きでまとめられている。

おわりに

Arduino を用いた電子工作にはさまざまな事例があるが、生体情報を用いた測定事例も比較的人気があり、心電図、筋電図、脈波などの測定モジュールが各社から発売されている。これらに本稿で紹介されているプログラムを組み合わせることで、さまざまなバイオフィードバック装置の作成が可能になるだろう。Wi-Fi や Bluetooth などの無線機能を持ったマイコンと組み合わせる

ことで、市販品より利便性の高いバイオフィードバック装置を、低コストで導入することも可能である。本稿で紹介した事例が低価格バイオフィードバック機器の普及に役立つことを願っている。

引用文献

- [1] 長野祐一郎 (2017) 11 章 3 節 体温. 堀 忠雄, 尾崎 久 (監) 坂田省吾, 山田富美男 (編), *生理心理学と精神生理学 第 I 巻 基礎* (pp.214-222) 北大路書房
- [2] バンジ, M., シロー, M. 船田 巧 (訳) (2015) *Arduino をはじめよう 第 3 版 (Make : PROJECTS)*. オライリー・ジャパン.
- [3] 大河内浩人, 杉若弘子 (1995) バイオフィードバックによる皮膚温上昇訓練初期の皮膚温下降. *心理学研究*, 66, 45-51.