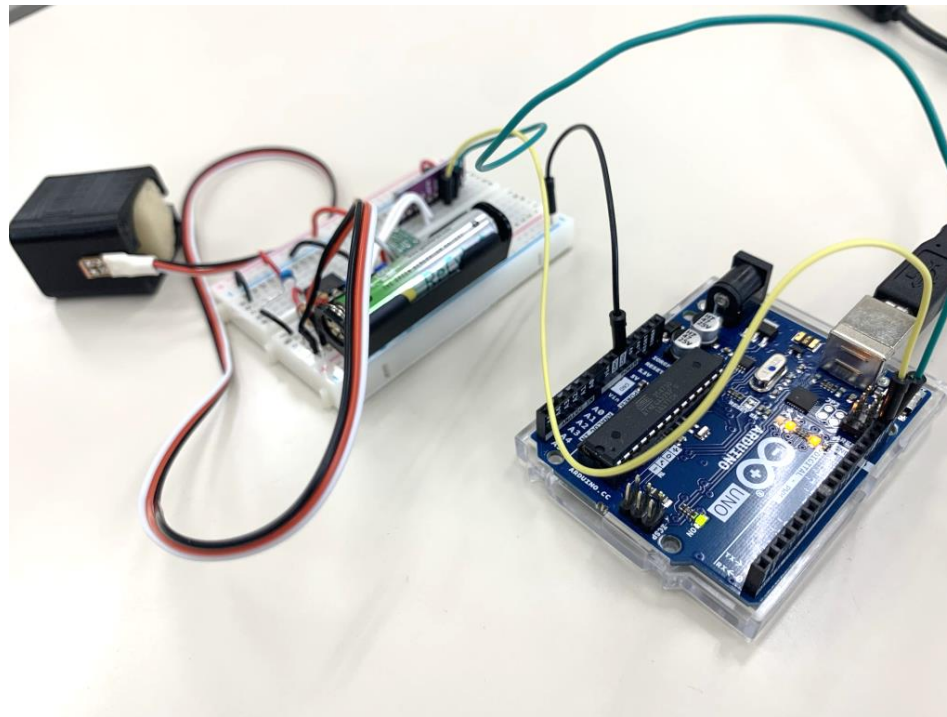


# Arduinoを用いた指尖容積脈波・皮膚コンダクタンスの測定

文京学院大学 長野祐一郎

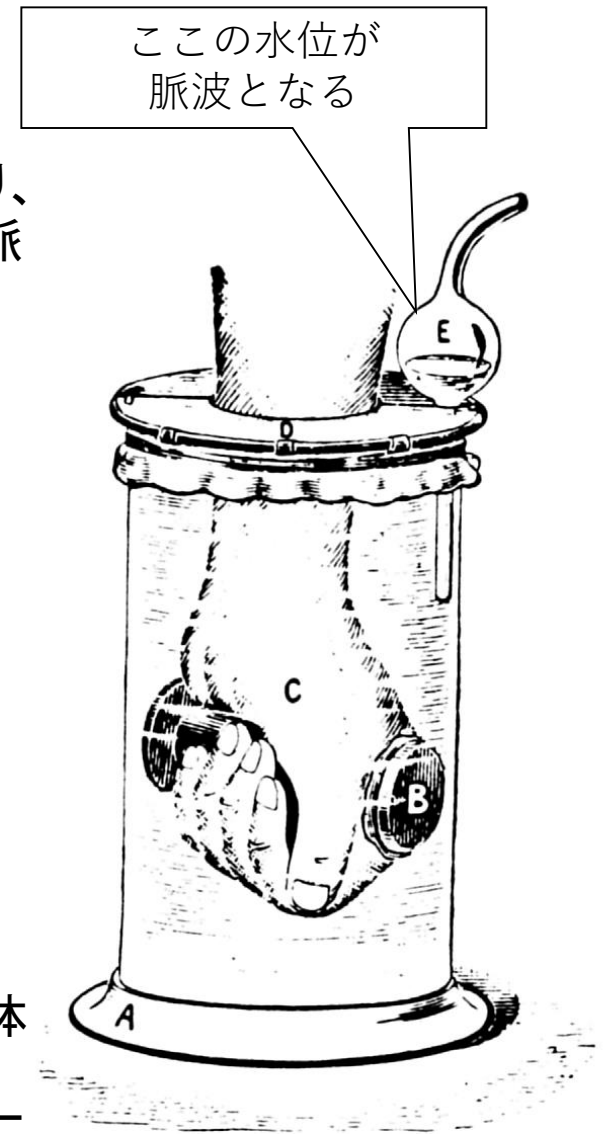


# PV:光電式指尖容積脈波1

脈波は心臓の拍動に伴い、血管につたわる縦波のことであり、容積変動に注目したのが**容積脈波**である。周期成分である脈拍数 (pulse rate: PR) と振幅成分である脈波容積 (pulse volume: PV) が得られる。

光センサーを用いて指先から測定される脈波のことを、**光電式指尖容積脈波**という。光電式指先容積脈波から算出される指標は、さまざまな刺激に鋭敏に反応するため、古くから生理心理的研究において用いられてきた。光を用いる測定法のため、侵襲性が低く、手軽に測定できるという利点がある。

光のうち700nm～1200nm近辺の近赤外光は、生体内を非常に良く透過する。血液中に存在するヘモグロビンは、他の生体組織より良く赤外光を吸収するため、生体組織に近赤外光を当てると、流入する血液の量を反映して透過光が増減する。これが光電式指尖容積脈波 (finger photo-plethysmogram: FPG) である。

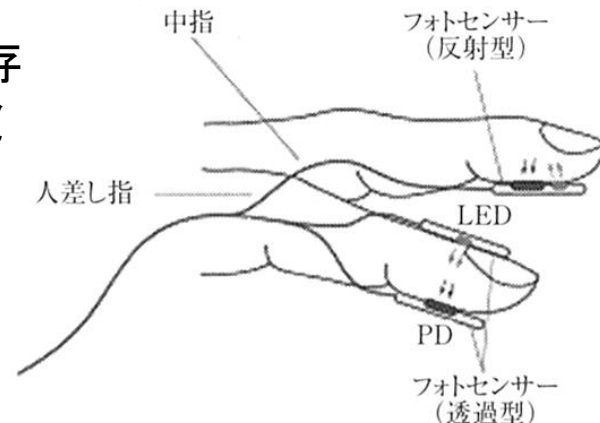


## PV:光電式指尖容積脈波2

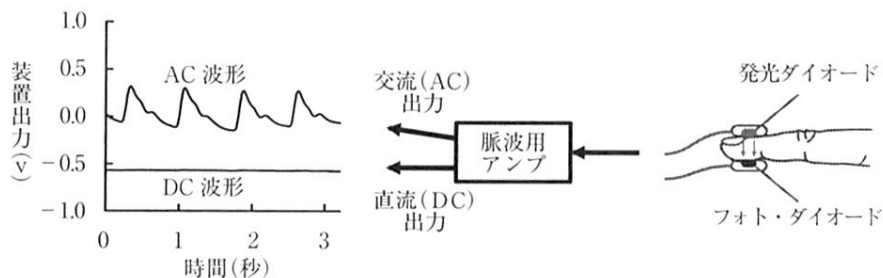
指先部には交感神経に支配をうける動脈・細動脈が多数存在し、大きな脈波が観測できるため、光電式指尖容積脈波の測定に適した部位である。

容積脈波の測定には、発光部に近赤外線の**発光ダイオード**(light emitting diode: LED)を、受光部に**フォト・ダイオード**(photo diode: PD)という半導体を用いる(右図参照)。

脈波センサーは、発光ダイオードとフォト・ダイオードの配置の仕方によって、透過型と反射型に分けることができる。透過型のセンサーは発光ダイオードとフォト・ダイオードが独立しているが、反射型のセンサーは双方が1つのセンサーに収まっている。



④図 9-2-4 反射型 (上), 透過型 (下) による光電式指尖容積脈波の測定 (Lee, Matsumura, Yamakoshi, Rolfe, Tanaka, Kim, et al., 2013 を一部改変)  
LED: 発光ダイオード, PD: フォト・ダイオード



④図 9-2-5 光電式指尖容積脈波 (FPG) の測定例

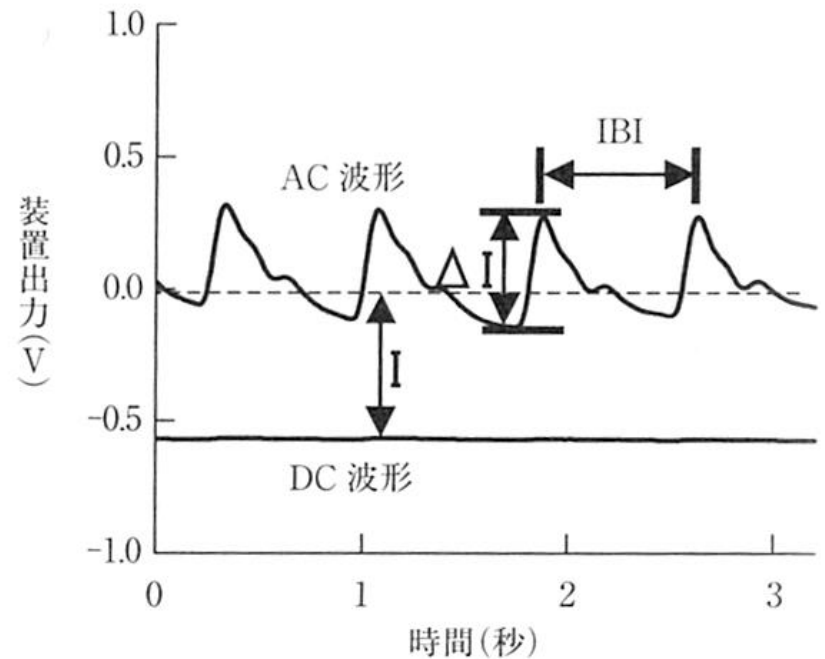
脈波は、測定された**生波形であるDC波形**と、**脈動に応じた波形のみを取り出したAC波形**にわけて測定される場合が多い。AC波形は、DC波形からオフセット (直流) 成分をカットした上で、拍動に応じた微小な増減を増幅した波形である。

## PV:光電式指尖容積脈波3

光電式指尖容積脈波のAC波形を時系列的に分析すると、**脈拍数(pulse rate: PR)**を求めることができる。隣り合うピーク間隔、つまり脈拍間隔(inter-beat interval: IBI)を求めると、脈ごとの脈拍数(PR)が求められる。

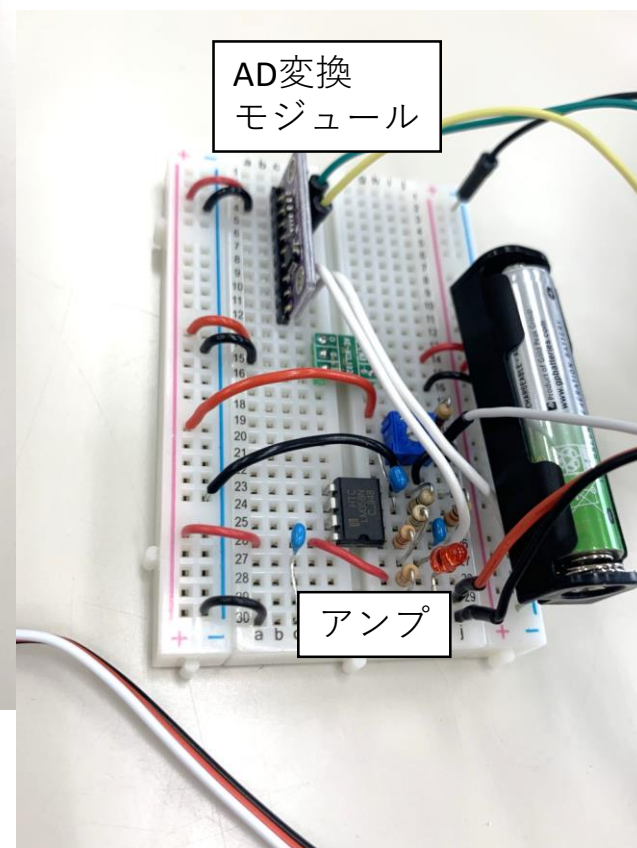
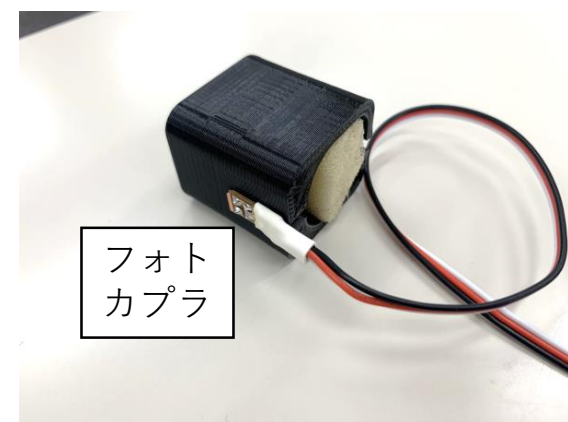
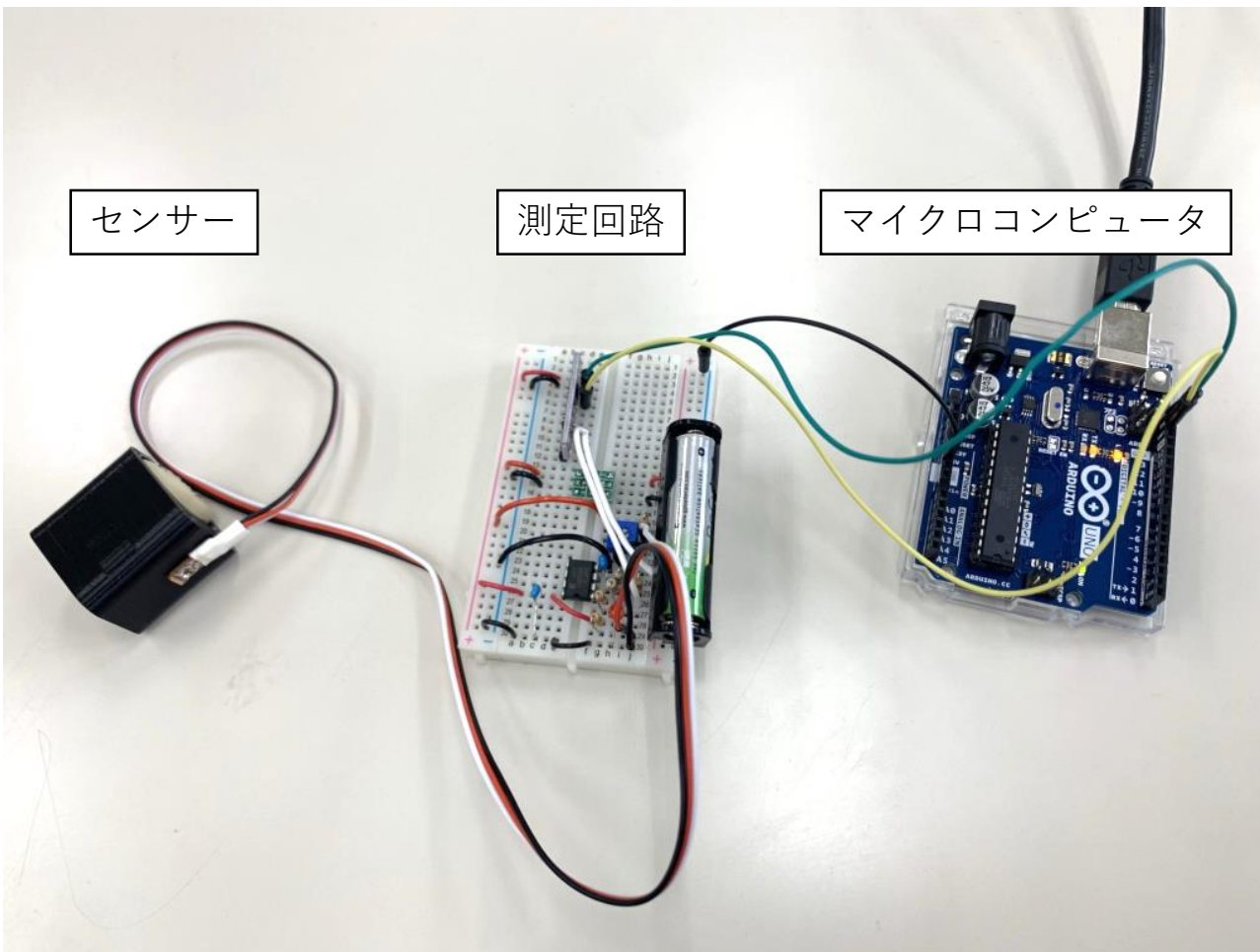
$$PR = 60000 / IBI$$

光電式指尖容積脈波のAC波形の振幅を**脈波容積(pulse volume: PV)**という。脈波容積は、精神的ストレス課題、寒冷昇圧課題、定位反応誘発刺激などによって減少する。これは $\alpha$ アドレナリン作動性の交感神経興奮により細動脈が収縮した結果生じる。



①図 9-2-6 光電式容積脈波 (FPG) の解析例

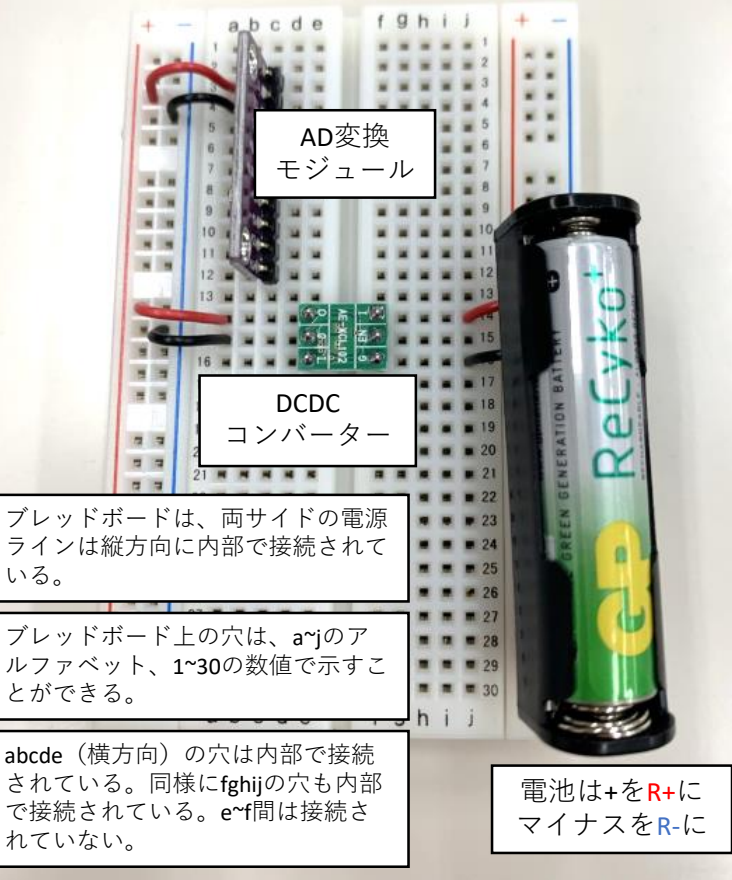
# PV:測定装置の概要



# PVSC共通:測定回路の作成(電源モジュールとAD変換モジュール)

左側電源ラインを  
L+とL-で表記

右側電源ラインを  
R+とR-で表記

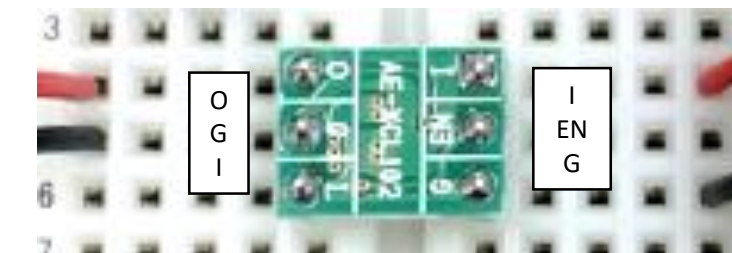


ブレッドボードは、両サイドの電源ラインは縦方向に内部で接続されている。

ブレッドボード上の穴は、a~jのアルファベット、1~30の数値で示すことができる。

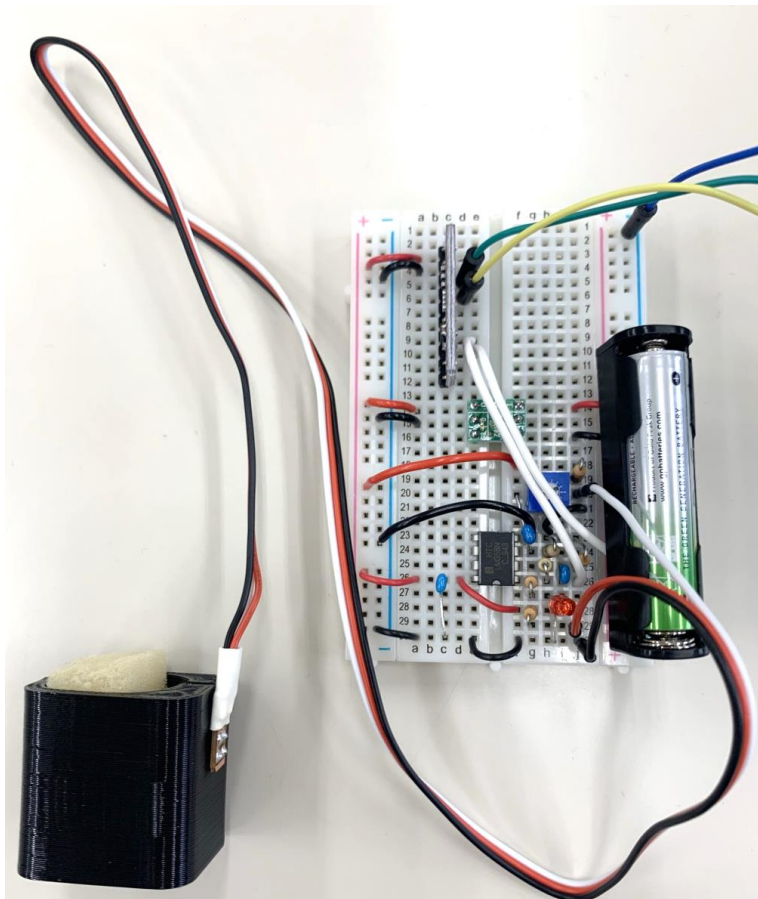
abcde (横方向) の穴は内部で接続されている。同様にfghijの穴も内部で接続されている。e~f間は接続されていない。

電池は+をR+に  
マイナスをR-に



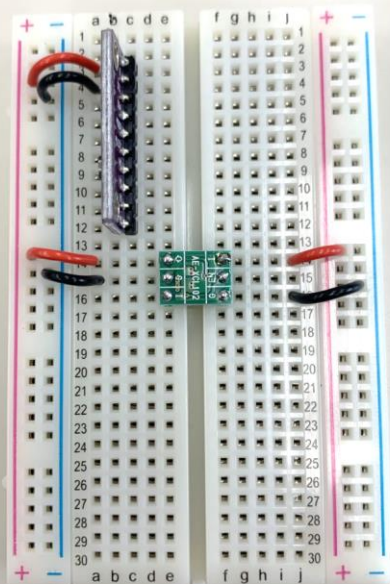
種別	部品名	本体	ブレッドボード	動作チェック	
マイコン	ArduinoUNO	G	R-		
		SCL	e5		
		SDA	e6		
電源回路	DC-DCコンバーター (AE-XCL 102)	I	f14		
		EN	f15		
		G	f16		
		O	e14	G~O間に 5V	
		G	e15		
	I	e16			
	ジャンプワイヤー(レッド)		L+	a14	
	ジャンプワイヤー(ブラック)		L-	a15	
ジャンプワイヤー(レッド)		R+	j14		
ジャンプワイヤー(ブラック)		R-	j16		
電池ボックス+		R+			
電池ボックス-		R-			
AD変換	AD変換モジュール (ADS1015)	V	c3		
		G	c4		
		SCL	c5		
		SDA	c6		
		ADDR	c7		
		ALERT	c8		
		A0	c9		
		A1	c10		
		A2	c11		
		A3	c12		
ジャンプワイヤー(レッド)		L+	a3		
ジャンプワイヤー(ブラック)		L-	a4		

# PV:測定回路の作成 (電子回路)

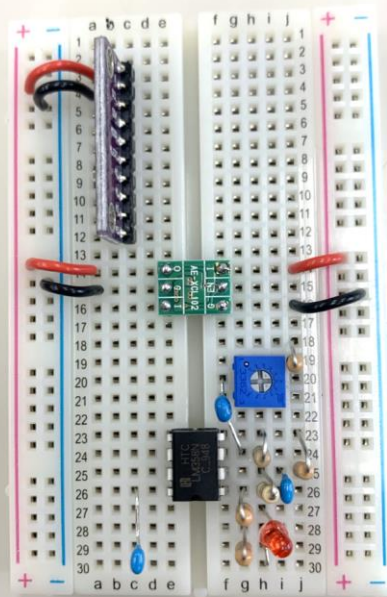


種別	部品名	本体	ブレッドボード	備考	
PV 測定回路	4.7KΩ		j18	j19	(黄紫赤金)
	1KΩ		j23	j25	(茶黒赤金)
	100KΩ		h23	h24	(茶黒黄金)
	1MΩ		h25	h26	(茶黒緑金)
	220Ω		g26	g27	(赤赤茶金)
	220Ω		g28	g29	(赤赤茶金)
	コンデンサ104		c26	c30	
	コンデンサ105		g24	f20	
	コンデンサ104		i25	i26	
	LM358	1	f26		
		2	f25		
		3	f24		
		4	f23		
		5	e23		
		6	e24		
		7	e25		
		8	e26		
	LED		h27	h30	向きに注意
	VR(10K)	左	h19		
		中央	i20		
右		h21			
ジャンプワイヤー(レッド)		L+	f18		
ジャンプワイヤー(レッド)		L+	a26		
ジャンプワイヤー(レッド)		d26	f28		
ジャンプワイヤー(ブラック)		L-	g23		
ジャンプワイヤー(ブラック)		i23	j21		
ジャンプワイヤー(ブラック)		L-	a30		
ジャンプワイヤー(ブラック)		e30	f30		
ジャンプワイヤー(ホワイト)		e10	R-		
ジャンプワイヤー (ホワイト)		e9	j26		
センサー	フォト カプラ	レッド	j29		
		ブラック	j30		
		ホワイト	j20		

# PV:測定回路の作成(組み立ての例)

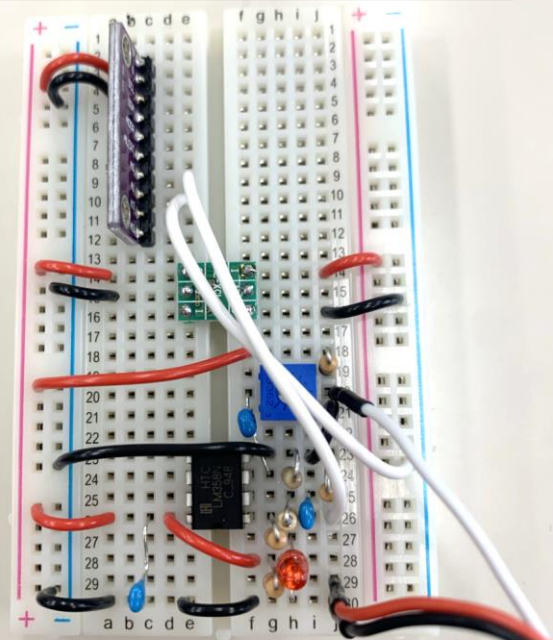


電源回路とAD変換モジュールを配置



IC、抵抗、コンデンサなどを配置

さらに電池を追加し、Arduinoとブレッドボードを接続する必要がある。



ワイヤとセンサを接続



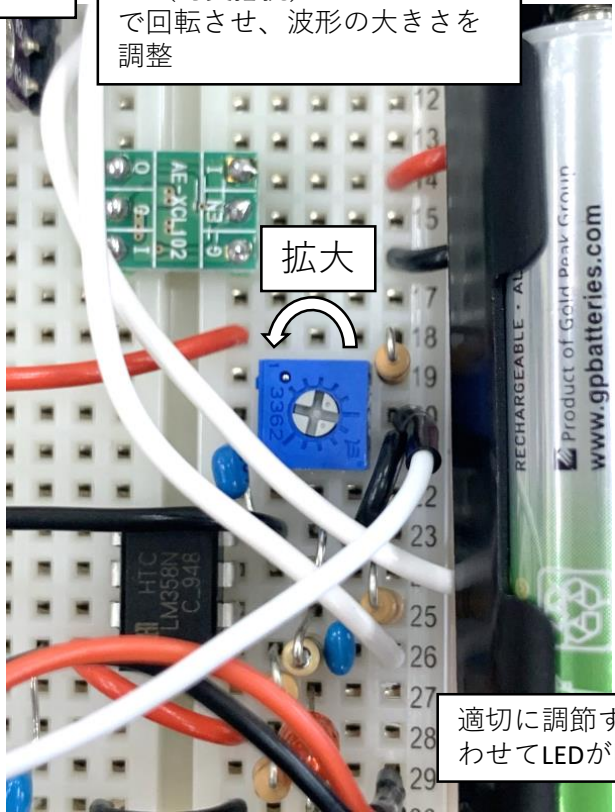
# PV:測定する

プログラムはADS1015\_PVを使用する。



センサーが指の腹に来るように装着。スポンジで指の背中側を圧迫して固定する。

VR（可変抵抗）をドライバーで回転させ、波形の大きさを調整



拡大

適切に調節すると、脈動に合わせてLEDが明滅する。

```
ADS1015_PV | Arduino 1.8.13
ファイル 編集 スケッチ ツール ヘルプ

ADS1015_PV
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>

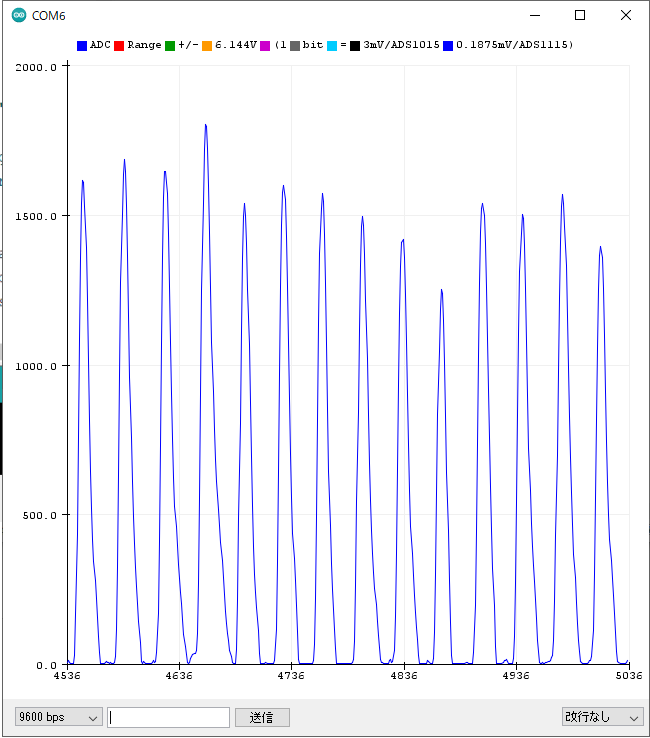
// Adafruit_ADS1115 ads; /* Use this for the 16-bit version */
Adafruit_ADS1015 ads; /* Use this for the 12-bit version */

void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Hello!");

  Serial.println("Getting");
  Serial.println("ADC Range");

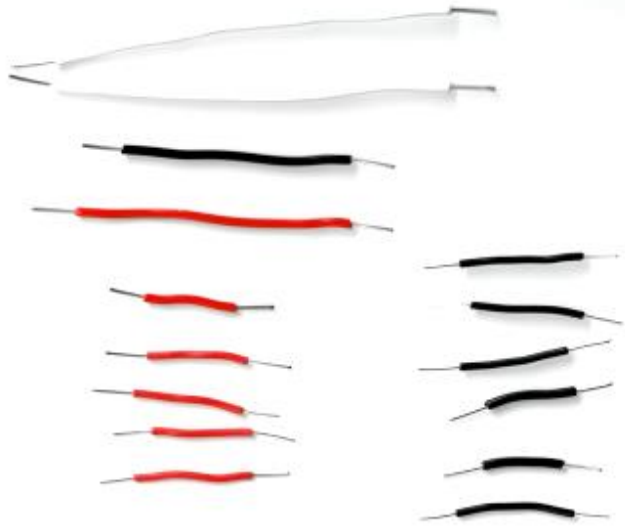
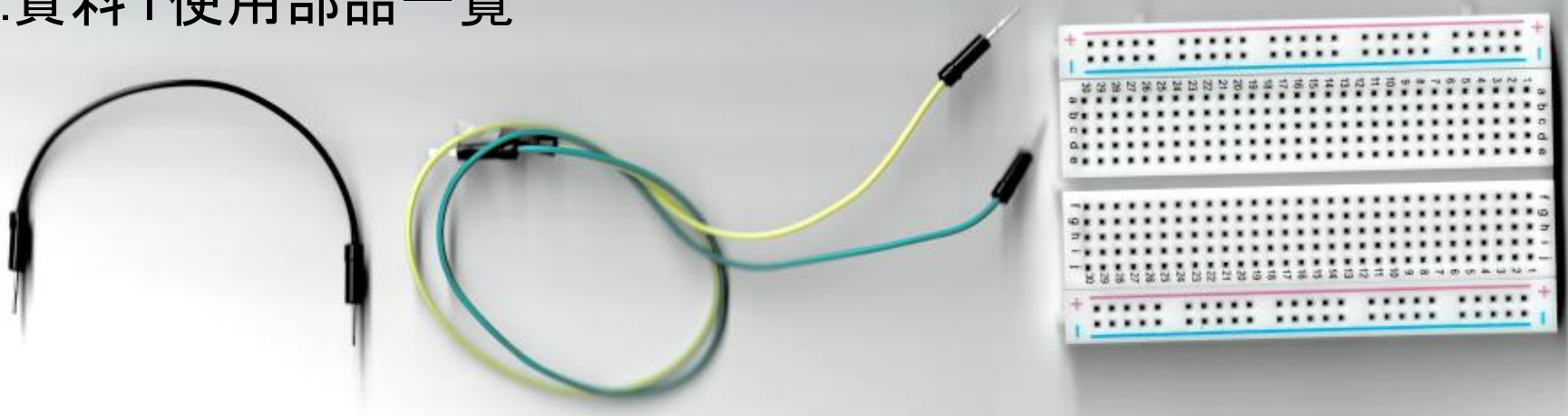
  // The ADC input range
  // functions, but be ca
  // exceed the upper and
  // Setting these values
  //
}
```

ボードとライブラリにアップデート



シリアルプロッタで波形を確認する。必要に応じてVRで振幅を調整する。

# PV:資料1使用部品一覧



AD変換モジュール



LM358



DCDC  
コンバーター



VR



LED



1k $\Omega$



1M $\Omega$



100k $\Omega$



4.7k $\Omega$



220 $\Omega$



220 $\Omega$



104



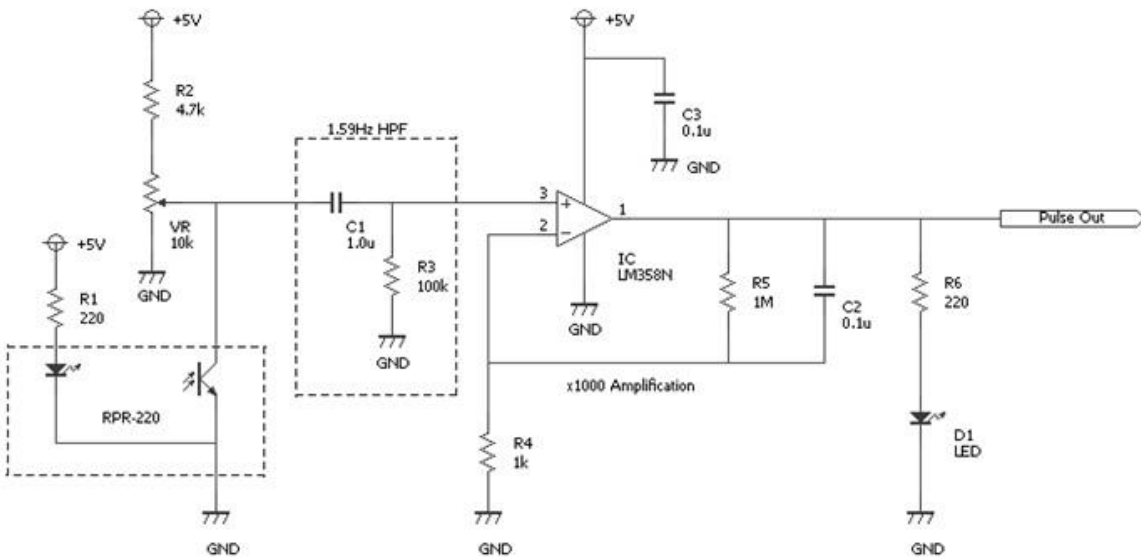
105



104



# PV:資料2回路とセンサーのスペック



脈波の測定に用いた回路

RPR-220

Datasheet

●電気的・光学的特性 (T<sub>a</sub> = 25°C)

Parameter	Symbol	Conditions	Values			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
入力特性	順電圧	V <sub>F</sub>	I <sub>F</sub> =50mA	-	1.34	1.6	V
	逆電流	I <sub>R</sub>	V <sub>R</sub> =5V	-	-	10	μA
出力特性	暗電流	I <sub>CEO</sub>	V <sub>CE</sub> =10V	-	-	0.5	μA
	ピーク感度波長	λ <sub>p</sub>	-	-	800	-	nm
伝達特性	コレクタ電流	I <sub>C</sub>	V <sub>CE</sub> =2V, I <sub>F</sub> =10mA *	0.08	0.3	0.8	mA
	コレクター-エミッタ間飽和電圧	V <sub>CE(sat)</sub>	I <sub>F</sub> =20mA, I <sub>C</sub> =0.1mA *	-	0.1	0.3	V
	応答時間	tr <sub>tf</sub>	V <sub>CC</sub> =5V, I <sub>F</sub> =20mA, R <sub>L</sub> =100Ω *	-	10	-	μs
赤外発光ダイオード	遮断周波数	f <sub>c</sub>	I <sub>F</sub> =50mA	-	1	-	MHz
	ピーク発光波長	λ <sub>p</sub>	* 非干渉性発光ダイオードを使用	-	940	-	nm
フォトトランジスタ	応答時間	tr <sub>tf</sub>	V <sub>CC</sub> =5V, I <sub>C</sub> =1mA, R <sub>L</sub> =100Ω * 耐電磁波/耐電荷電粒子線設計はしてありません	-	10	-	μs
	最大感度波長	λ <sub>p</sub>	-	-	800	-	nm

\* 反射板として標準白紙(反射率90%)を使用。

# SC:皮膚コンダクタンス1

発汗現象は、温熱性のものと精神性のものにわけられる。前者が体温調節を目的としたものであるのに対し、校舎は”ここぞの場面”に臨む際、緊張やあがりの状態に伴うものである。

汗腺には、アポクリン腺とエクリン腺の2種類がある。**皮膚電気活動に主に関係するのはエクリン腺**であり、アポクリン腺はほとんど関与しない。

## アポクリン腺

主に腋下と生殖器周辺にみられ、体臭の主な原因。体温調節の機能はほとんどない。アポクリン発汗の機能については不明な点が多いが、発情期に充実し、フェロモンと呼ばれる性的信号となる物質の分泌に関係する。

## エクリン腺

この腺は身体全体に分布し、発汗による熱発散により体温を恒温に保つ働きがある。この汗腺が十分に発達しているのは無尾猿類と人類のみである。エクリン腺は体温変化に反応するだけでなく、外部刺激やストレスにも反応する。**手掌と足の裏に集中し**、一部は額と腋下に分布する。

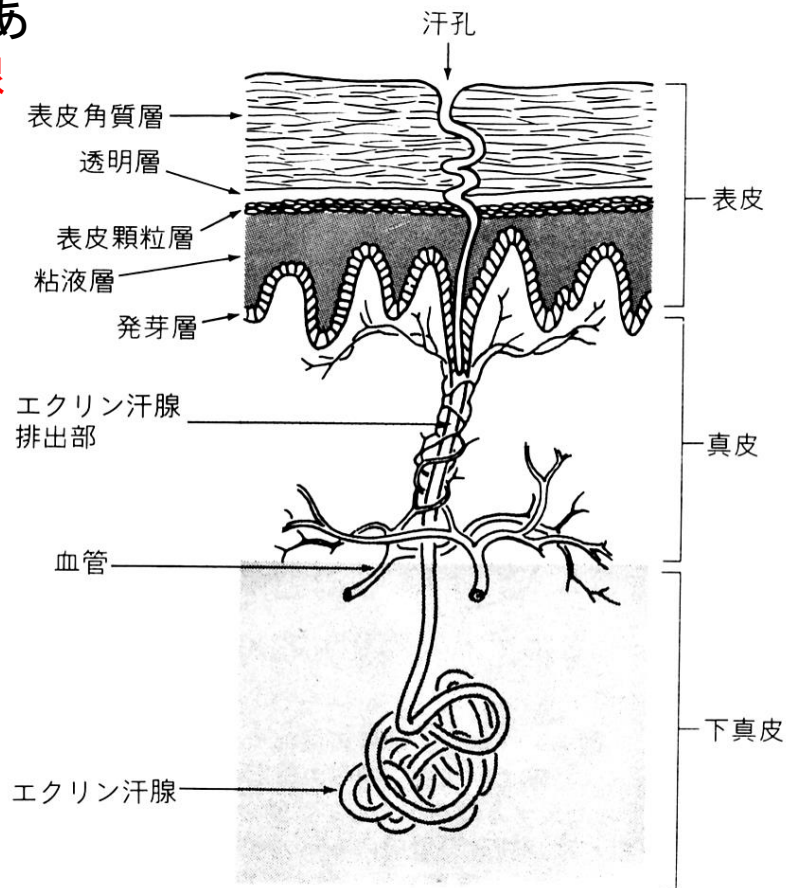
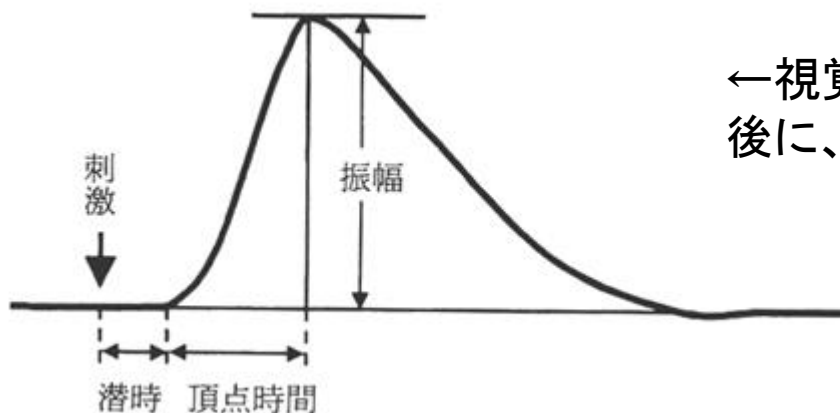


図 4.2 エクリン汗腺

## SC:皮膚コンダクタンス2

**皮膚電気活動**・・・皮膚の汗腺活動に起因する電氣的性質(電圧・伝導度)の変化



←視覚・聴覚などへの刺激を行うと、数秒後に、皮膚電気活動に変化が生じる。

手掌や指に装着した一対の電極間に微弱な電流を流し、皮膚の抵抗変化を調べる**通電法**と、電流を流すことなく、一対の電極間の電位差を直接測定する**電位法**に分けられる。

皮膚コンダクタンス変化	Skin Conductance Change : SCC
皮膚コンダクタンス反応	Skin Conductance Response : SCR
皮膚コンダクタンス水準	Skin Conductance Level : SCL

皮膚電位活動	Skin Potential Activity : SPA
皮膚電位反応	Skin Potential Response : SPR
皮膚電位水準	Skin Potential Level : SPL

いずれも**交感神経支配下の汗腺活動**を電氣的に測定して、参加者の情動状態、認知活動、情報処理過程を評価する方法である。どちらの手法も、一過性の「反応(response)」と「ゆっくりした変動(level)」があり、目的に応じて使い分ける。

## SC:皮膚コンダクタンス3

皮膚電気活動の測定には一対の銀-塩化銀 (Ag-AgCl) 電極を用いる。電極の標準面積は1平方cmである。電解質を含む電極糊(電極ペースト)を電極の接触部位に塗付し、電極を適切な部位に装着する。皮膚電気活動は精神性発汗部位である手掌、手指、足指から測定できる。

皮膚コンダクタンス変化(SCC)の測定では、一般的に一対の電極を片側の手指の第2指と第3指の腹側部(中節掌面)に、テープで固定する。手掌の2か所に電極を離して配してもよい。

皮膚電位活動(SPA)の測定では、片側の手掌の小指球部または第2指か第3指の腹側部(中節掌面)に探查電極を配し、同側の前腕屈側部に基準電極を配して、それぞれテープで固定する。

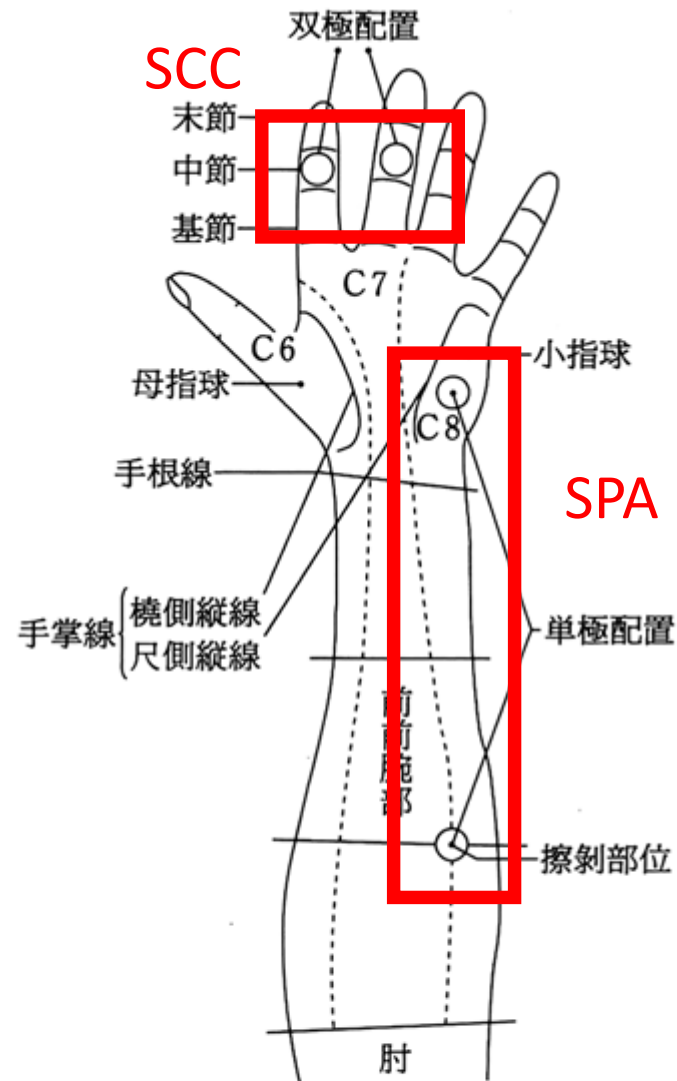


図12-1 SCCとSPA測定標準電極配置(Venables & Christie, 1980)

双極配置はSCC測定、単極配置はSPA測定に適している。破線による区画とC6, C7, C8は交感神経皮膚分節を示す。

# SC:測定装置の概要

ディスプレイ  
電極、クリップ



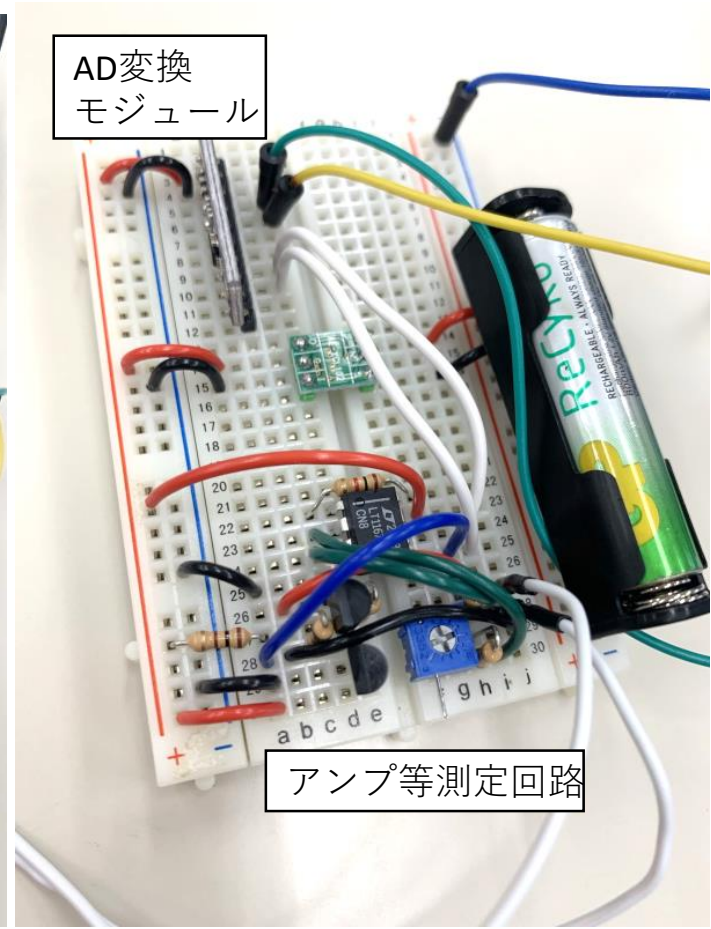
測定回路



マイクロコンピュータ

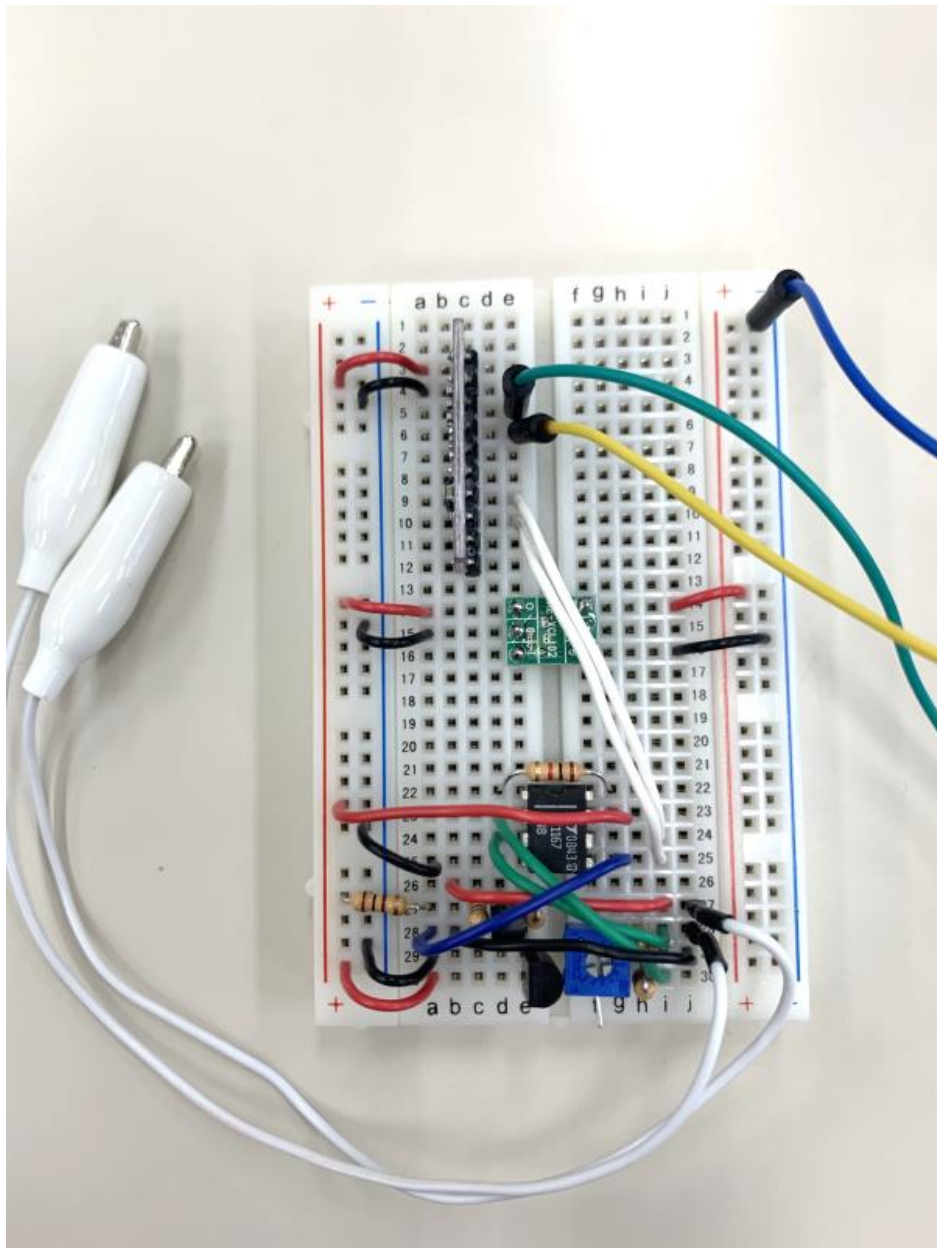


AD変換  
モジュール



アンプ等測定回路

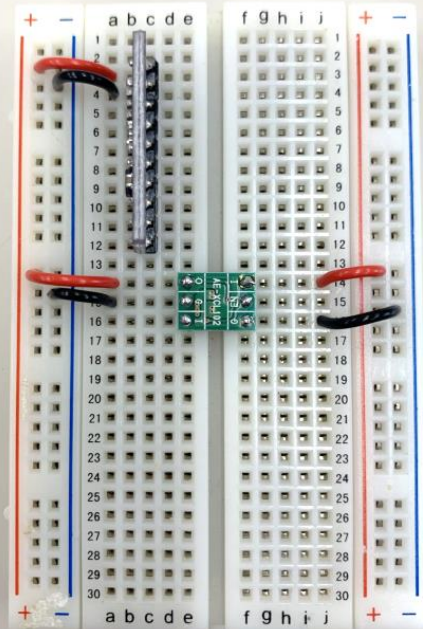
# SC:測定回路の作成(電子回路)



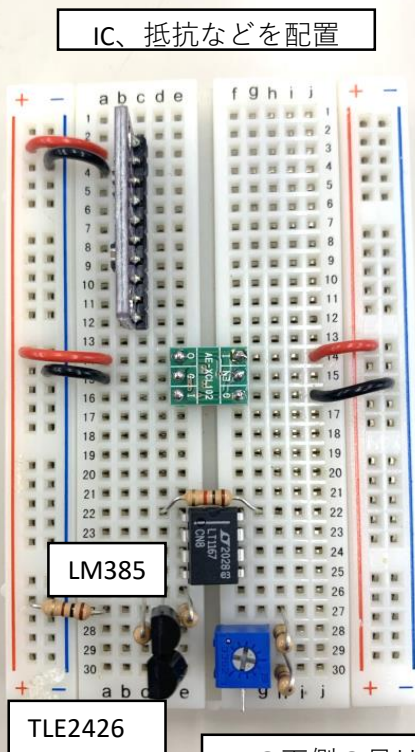
種別	部品名	本体	ブレッドボード	備考
定電圧回路	レールスプリッター (TLE2426CLP)	1:IN	e30	
		2:COMMON	e29	
		3:OUT	e28	
	ジャンプワイヤー(レッド)		L+	a30
	ジャンプワイヤー(ブラック)		L-	a29
	電圧リファレンス (LM385)	1:Anode	d28	
		2:Cathode	d27	
		3:NC	d26	
	抵抗100Ω (茶黒茶金)		a27	L+
抵抗510Ω (緑茶茶金)		c28	c26	
抵抗750Ω (紫緑茶金)		e27	e26	
ジャンプワイヤー(レッド長い)		b26	i27	この間に 0.5V出る
ジャンプワイヤー(ブラック長い)		b28	j29	
ブリッジ回路	抵抗510kΩ (緑茶黄金)		h28	h27
	抵抗200Ω (赤黒茶金)		h30	h29
	VR(10K) 感度調節に用いる	左	f28	
		中央	g29	
		右	なし	
	みのむし①		j27	
	みのむし②		j28	
	ジャンプワイヤー (グリーン)		i28	d24
ジャンプワイヤー (グリーン)		i30	d23	
増幅回路	インストルメンテーションアンプ (LT1167)  ICの向きに注意	1	e22	
		2	e23	
		3	e24	
		4	e25	
		5	f25	
		6	f24	
		7	f23	
		8	f22	
	ジャンプワイヤー(レッド長い)		L+	g23
	ジャンプワイヤー(ブラック)		L-	a25
抵抗1kΩ (茶黒赤金)		g22	d22	
ジャンプワイヤー (ブルー)		a28	g25	
ジャンプワイヤー(ホワイト)		e10	i25	この間に 増幅された 発汗波形成る
ジャンプワイヤー (ホワイト)		e9	i24	



# SC:測定回路の作成(組み立ての例)



電源回路とAD変換モジュールを配置

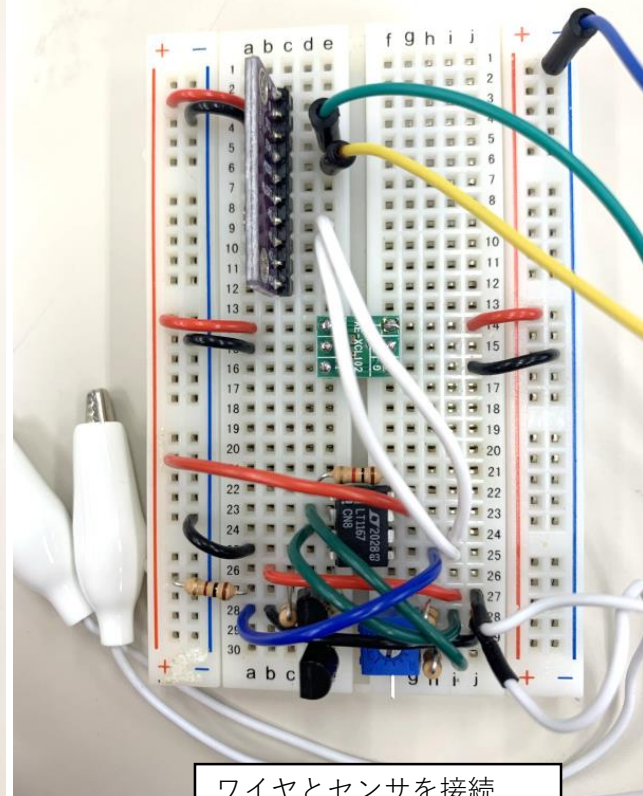


IC、抵抗などを配置

LM385

TLE2426

VRの下側の足は使わない

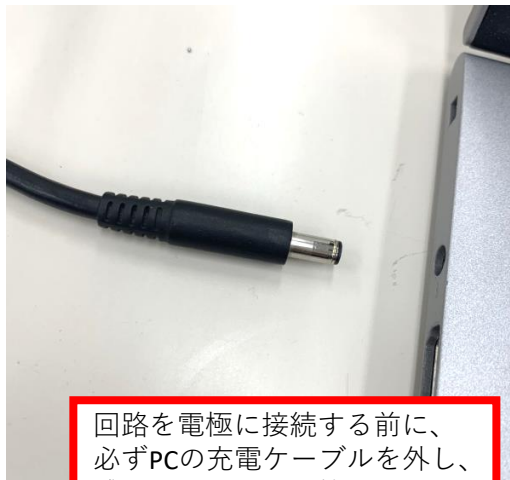


ワイヤとセンサを接続

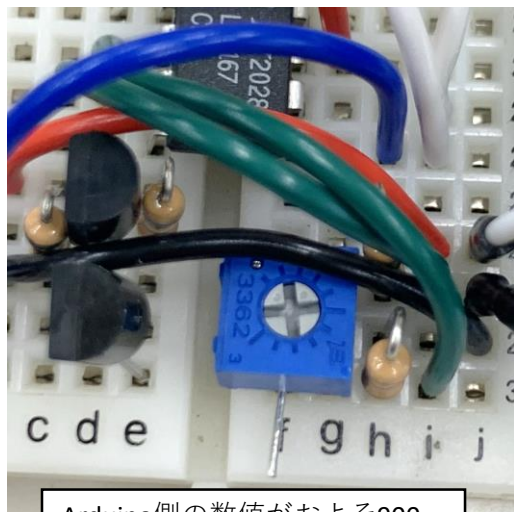
# SC:測定する



24kΩの基準抵抗をクリップに固定する。



回路を電極に接続する前に、必ずPCの充電ケーブルを外し、感電しないよう対策する。



Arduino側の数値がおよそ900になるようVRを調節する。上記写真の位置あたりが適切。



クリップを手のひらの電極に固定し、Arduino側で波形をチェックする。

プログラムはADS1015\_SCを使用する。

```
ADS1015_SC | Arduino 1.8.13
ファイル 編集 スケッチ ツール ヘルプ

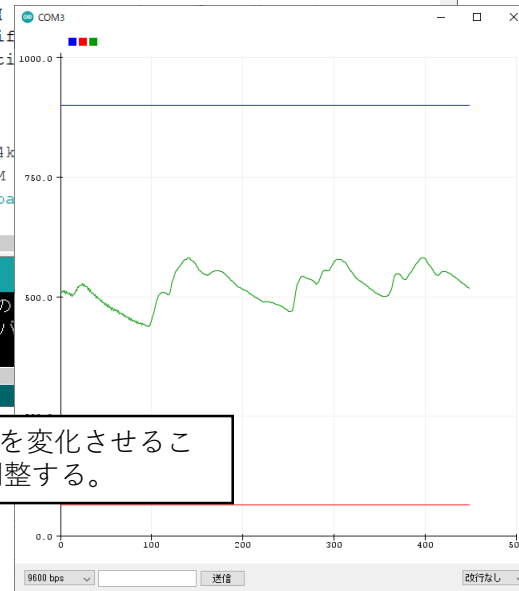
ADS1015_SC $
}

void loop(void)
{
  int16_t results;
  float resultMV;
  int avgCnt=50;

  resultMV=0.0F;
  for(int i=0;i<avgCnt;i++){
    results = ads.readADC_Dif
    resultMV+=results * multi
    delay(1);
  }

  Serial.print("900,"); //24k
  Serial.print("65,"); //1M
  Serial.print(resultMV/(floa
}

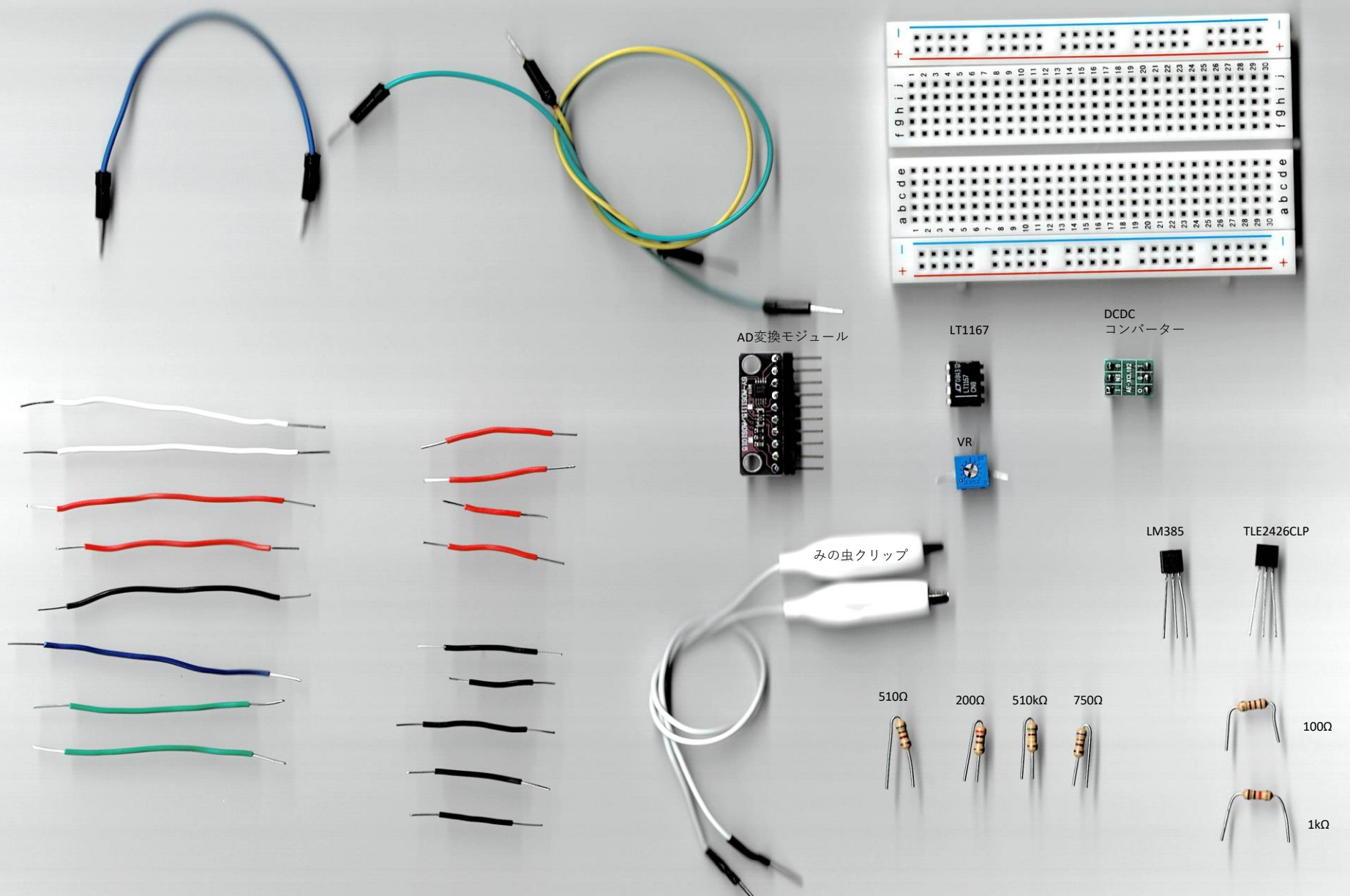
最大32256バイトのフラッシュメモリの
最大2048バイトのRAMのうち、グローバ
14
```



プログラム中のavgCntを変化させることでサンプル速度を調整する。

シリアルプロッタで波形を確認する。青ラインは24kΩ=42μsを意味する。赤ラインは1MΩ=1μsを意味する。

# SC:資料1使用部品一覧



AD変換モジュール

LT1167

DCDC  
コンバーター

VR

みの虫クリップ

LM385

TLE2426CLP

510Ω

200Ω

510kΩ

750Ω

100Ω

1kΩ

# SC:資料2測定回路

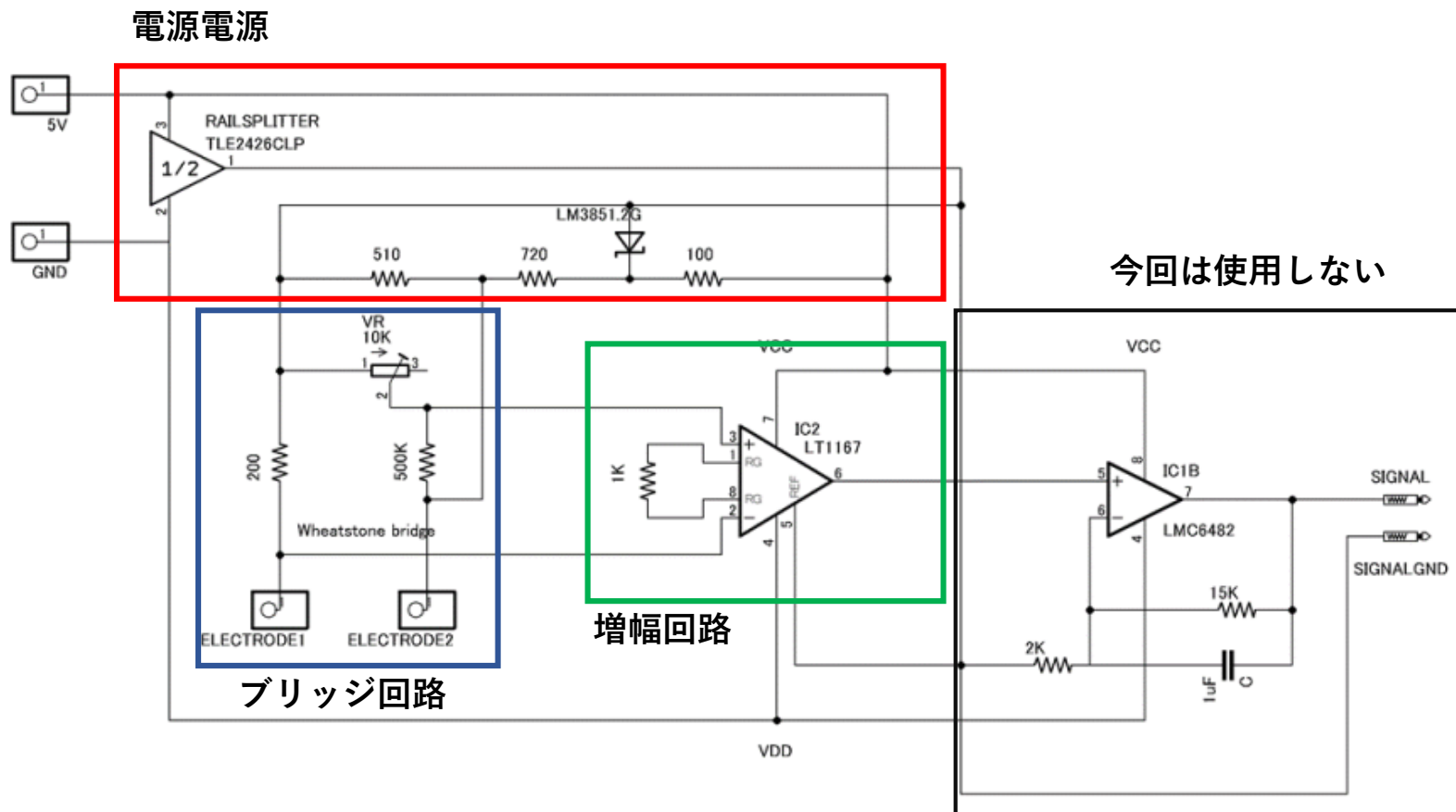
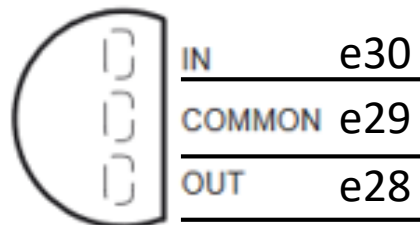


図4 皮膚コンダクタンスの計測に用いられた回路

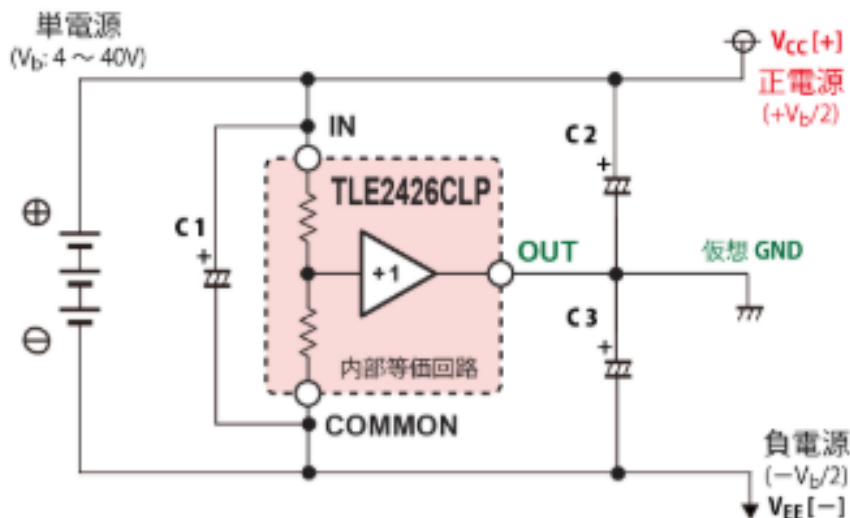
# SC:資料3レールスプリッターと電圧リファレンス

## レールスプリッター

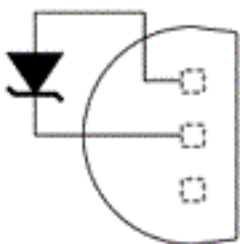
LP PACKAGE  
(TOP VIEW)



**TLE2426CLP**



## LM385



**LP PACKAGE**  
(Top View)

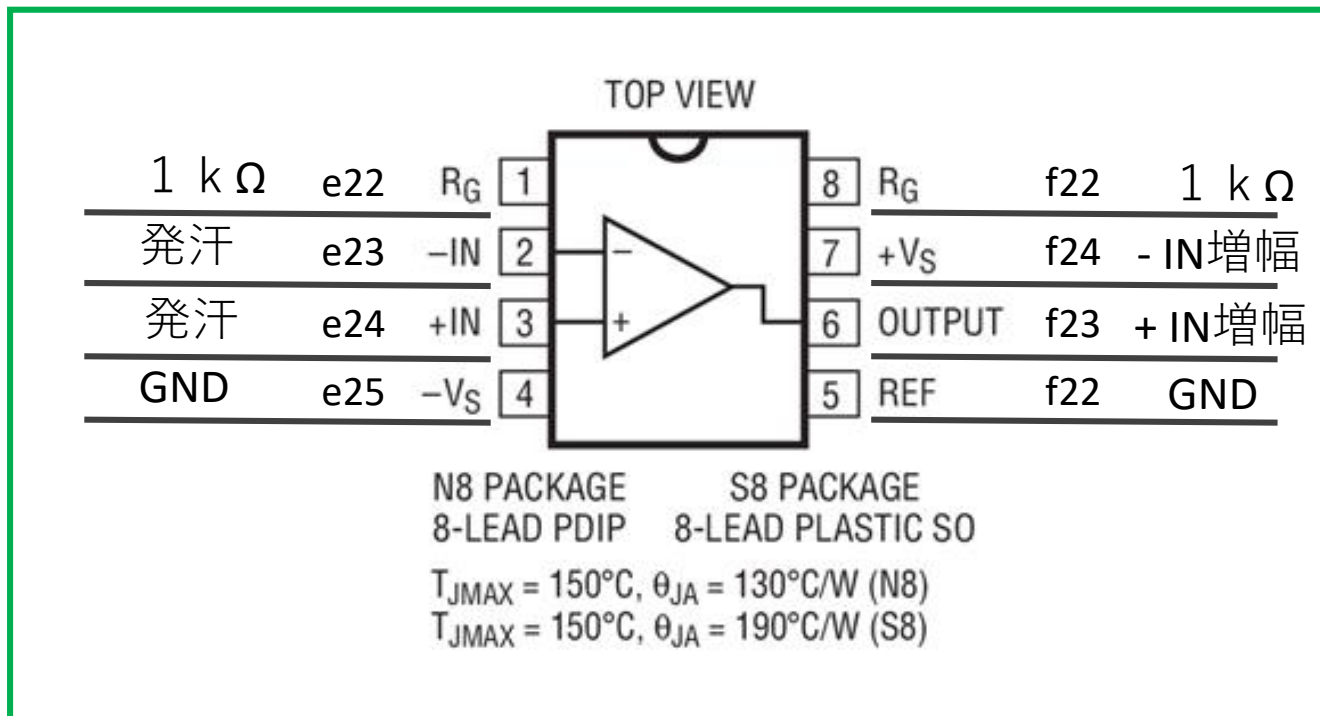
## LTE2426

- 0vと5vを与えると正確な2.5vを出力してくれる
- 降圧した2.5vをブリッジ回路とLM385に出力している

## LM385 1.2G

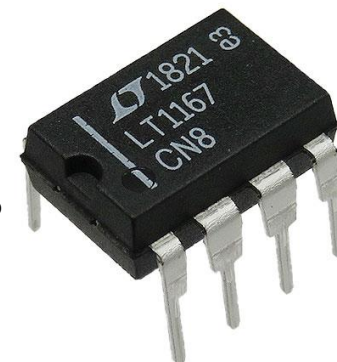
- 1.2vを出力し、その後分圧回路で0.5vに変換する
- ブリッジ回路に出力している

# SC:資料4計装アンプ

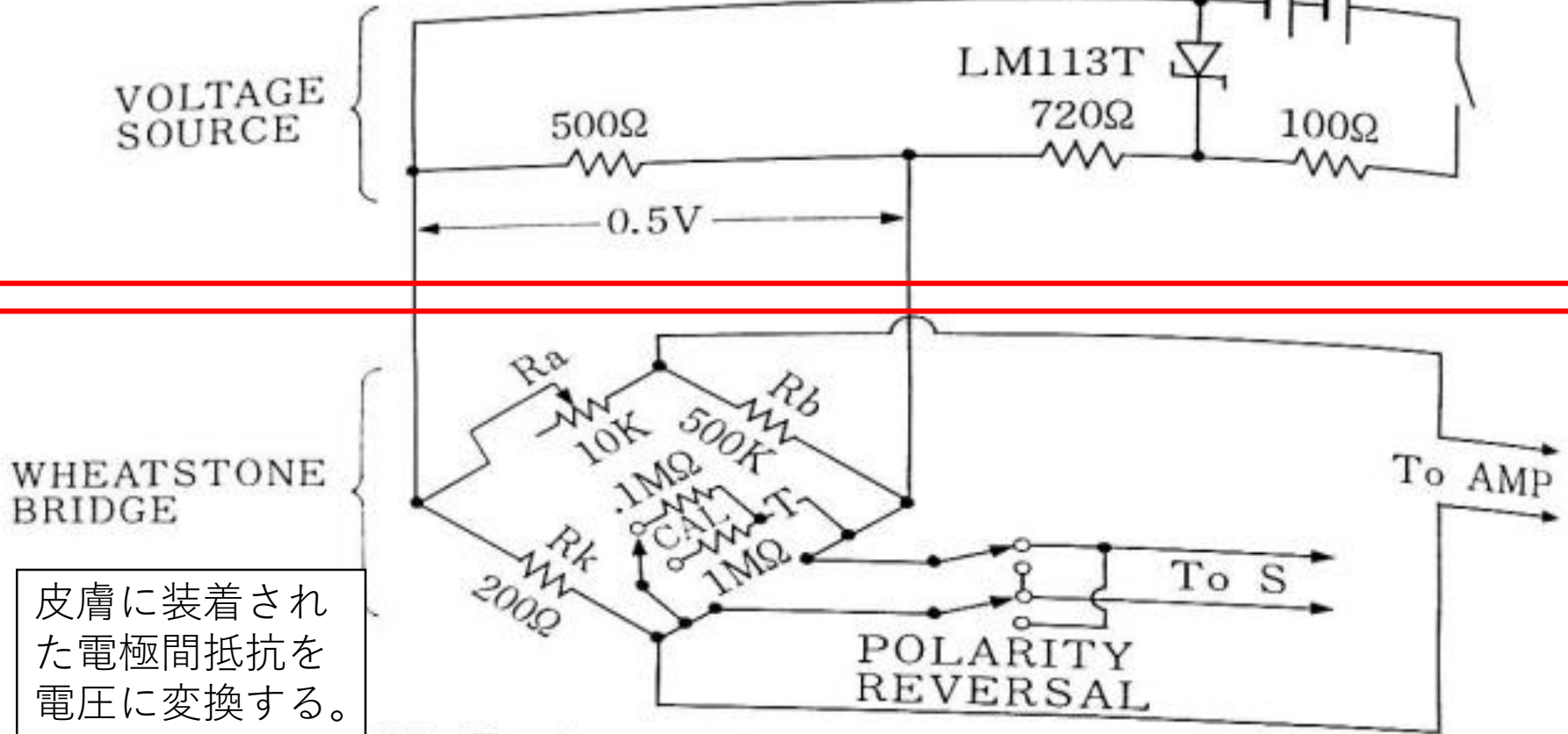


## LT1167

- ブリッジ回路から出力された値を増幅している
- Pin 1とPin 8の間に抵抗を入れることで出力する値の倍率を変えることができる (今回は1k $\Omega$ 抵抗を使用し、入力された値を50倍にしている)



LM113T(LM385)が作った1.2Vを500Ωと720Ωの抵抗を使い、0.5Vと0.7Vに分圧し、0.5V側を電源とする。



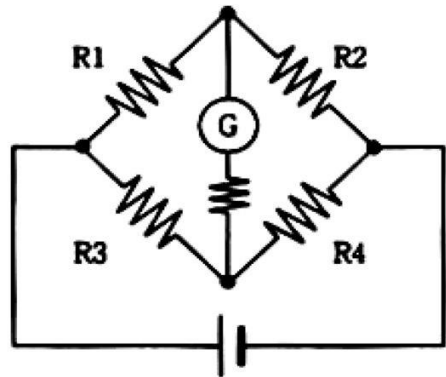
皮膚に装着された電極間抵抗を電圧に変換する。

図 3.15 Fowles らの勧告する回路 (Edelberg<sup>5)</sup>)

# ブリッジ回路

## ■ 222 ☆

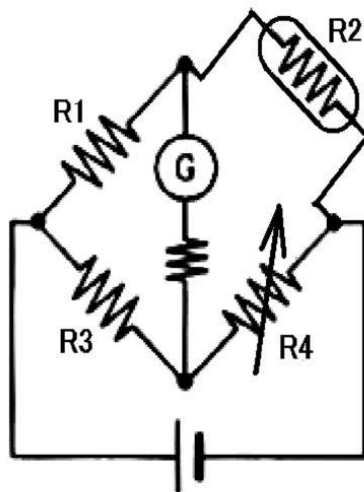
ホイート・ストーン・ブリッジ回路中の検流計 G に電流が流れない時の R4 の抵抗値はどれか。  
ただし、 $R1 = 3\ \Omega$ 、 $R2 = 12\ \Omega$ 、 $R3 = 4\ \Omega$  とする。



1.  $2\ \Omega$
2.  $4\ \Omega$
3.  $8\ \Omega$
4.  $16\ \Omega$
5.  $32\ \Omega$

■ 4

ホイートストーンブリッジ回路を利用した温度計



抵抗 R2 をサーミスタにする。

抵抗 R4 を可変抵抗器(ボリューム)にする。

温度を測定したい部位にサーミスタを置く、温度に対応した抵抗値 R2 を得る。

メータ G を見ながらボリュームのつまみを回して、メータの針が 0 を指すように調整する。

ボリュームのつまみが示す目盛り(R4)と R2 は、正比例する。

$R1R4 = R2R3$  なので、 $R2 = (R1/R3) R4$

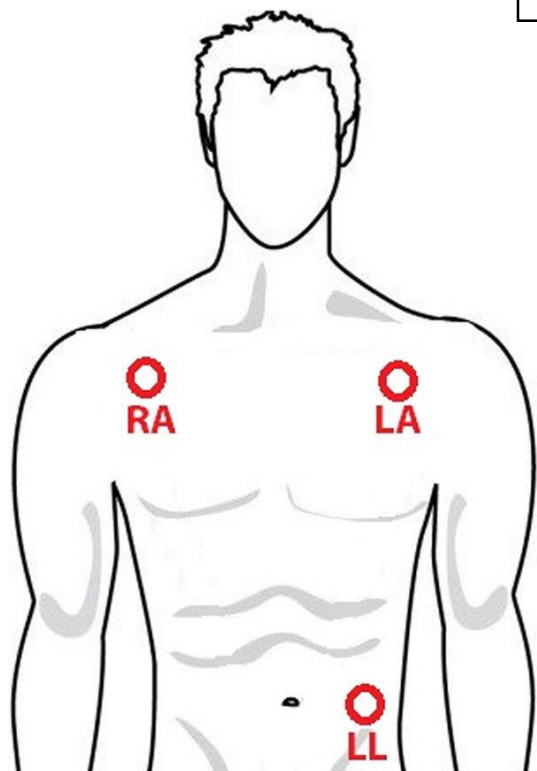
サーミスタの抵抗値と温度の関係から

あらかじめボリューム R4 の目盛りを温度表示にしておけば、これで精度の良い温度計になる。



# 生体信号と差動増幅

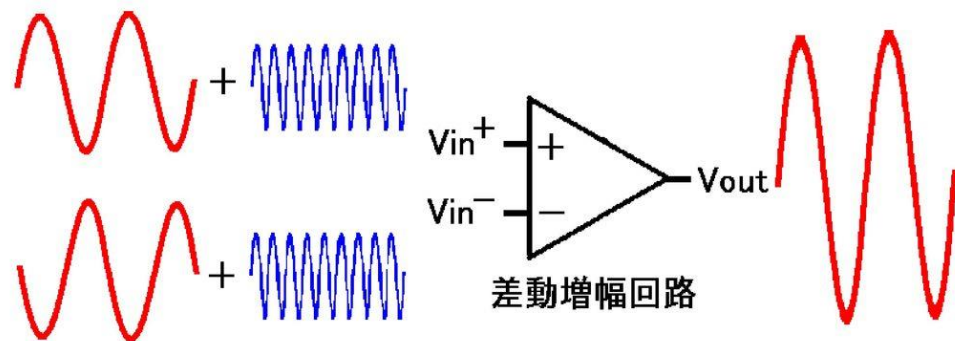
ノイズ除去には差動増幅が必要



RA-LA間

LA-LL間

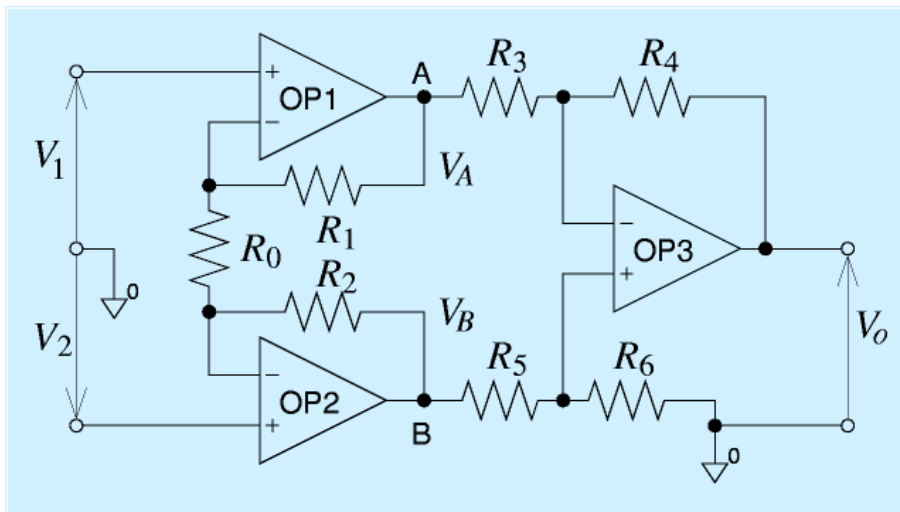
商用交流ノイズなど、ノイズは2つの電極に同じノイズ源から受けている場合が多く、2つの電極でのノイズ成分は同相の場合が多い。差動増幅回路で除去される。



差動増幅回路は、サラウンドシステムにも応用されている。左右の音源の同相成分(ボーカルなど)が抑制され、逆相成分(反響音など)が増幅された成分を抽出できる。

# ブリッジ回路の出力を読み取る

## インストルメンテーションアンプ

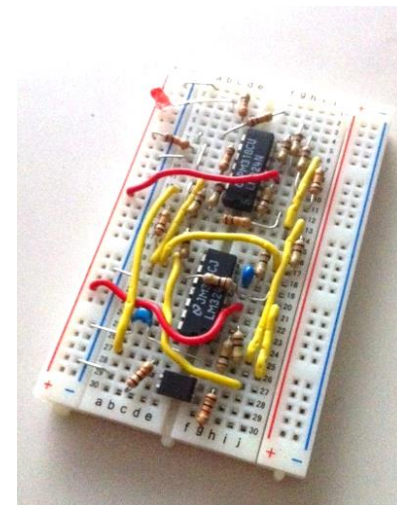
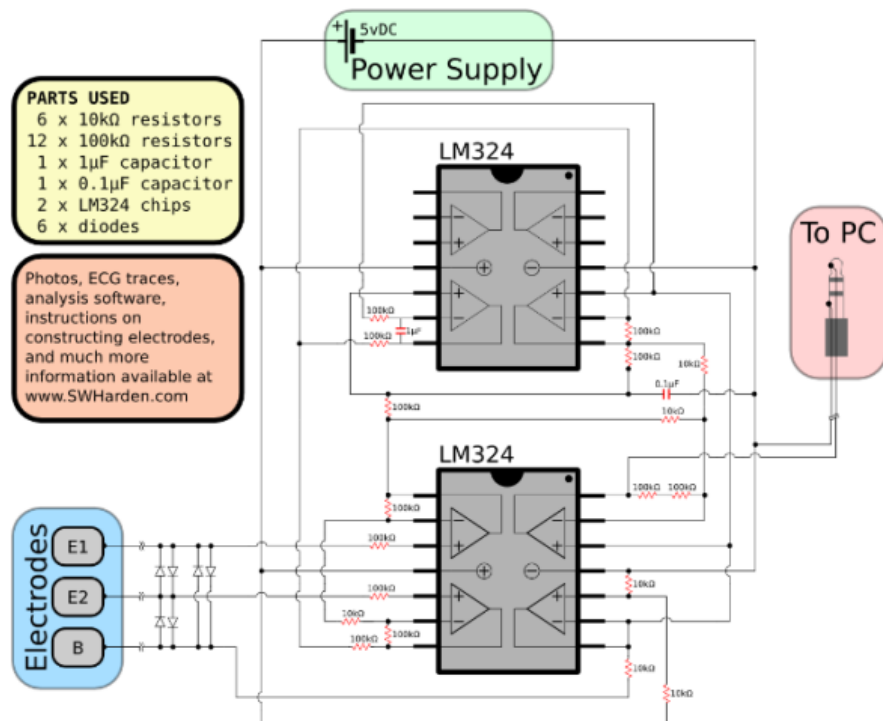


差動増幅回路は大きく二つの問題点があります。

- ・ 入力抵抗が（オペアンプ本来やセンサ類に対して）低い = 電流が流れる
- ・ 入力抵抗がアンバランス（両入力为非対称）

そのため、センサなどに使うには問題が出る場合があります。それを改良したものに、インストルメンテーションアンプ (Instrumentation: 計測 amp) があります。

# ELECTROCARDIOGRPH



BLOCK DIAGRAM

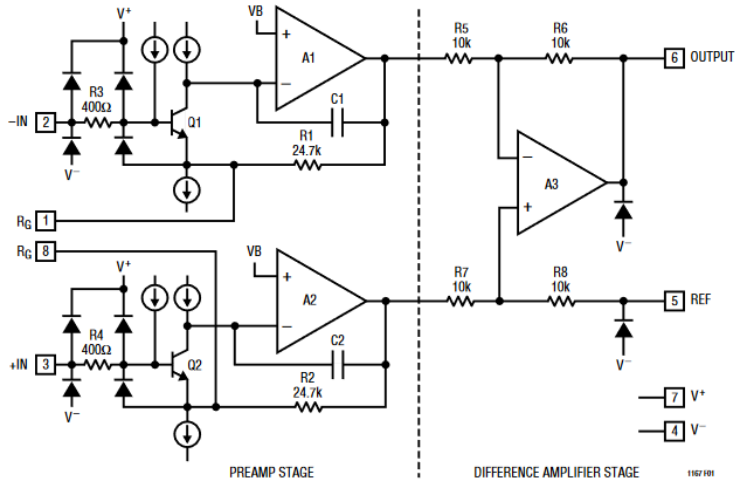


Figure 1. Block Diagram

**秋月電子通商**

トップページ | 商品カタログ | 新商品 | お知らせ | 注文方法 | 振込先 | よくある質問 | ダウンロード | 配送状況確認 | ログイン

トップ > 半導体(モジュール) > オペアンプ(OPA) > 計装用オプティファレンスアンプ > 高精度計装アンプ LT1167CN8

クイック注文: 通帳コードを入力 (アルファベット+数字)

数量  注文

通帳コード入力フォーム

この商品を友達に教える

お気に入りに入れる

店舗在庫情報



**高精度計装アンプ LT1167CN8**

[LT1167CN8#PBF]

通帳コード F-02789

発売日 2009/02/05

メーカーカテゴリ [Analog Devices, Inc./Linear Technology/Maxim Integrated Products, Inc.](#)

高精度計装アンプ LT1167CN8

- 主な仕様
- 特長: 計装アンプ
- 回路数: 1回路
- 電源: 単電源
- 動作電圧: ±2.3V~±18V
- 出力方式: プッシュプル
- 出力電流: 27mA
- 電圧利得
- スルーレ
- 利得帯域
- 実装タイプ
- ピン数: 8
- パッケージ

※8ピンに丸ピン(22)

データシート

外部リンク

計装アンプとは(アナログデバイス)

LinearTechnology  
LT1167

関連商品: 変換社 / IC/IC社 / PIC / 電源IC / DCDC / TR(NPN PNP SMD) / EET(Nch Pch SMD) / 2P/2P / 2P/4P / VS / SW / LED(3mm 5mm 角型 SMD IC/2脚) / 基板IC(1脚 SMD DIP)化 変換 IC(集積 IC) / IC / 基板(IC/IC) 集積 / 無線関連 / 2P/4P/IC / 3P / AC/DC/2P / IC/2P / IC/2P / 線材 / IC/IC / 2P / 集積IC / 集積IC / 工作用品 / IC/IC

[F-02789] 高精度計装アンプ LT1167CN8 AAA

1個 ¥620 (税込)

購入数量  個

カートに入れる

お気に入り

心電図が測れる→

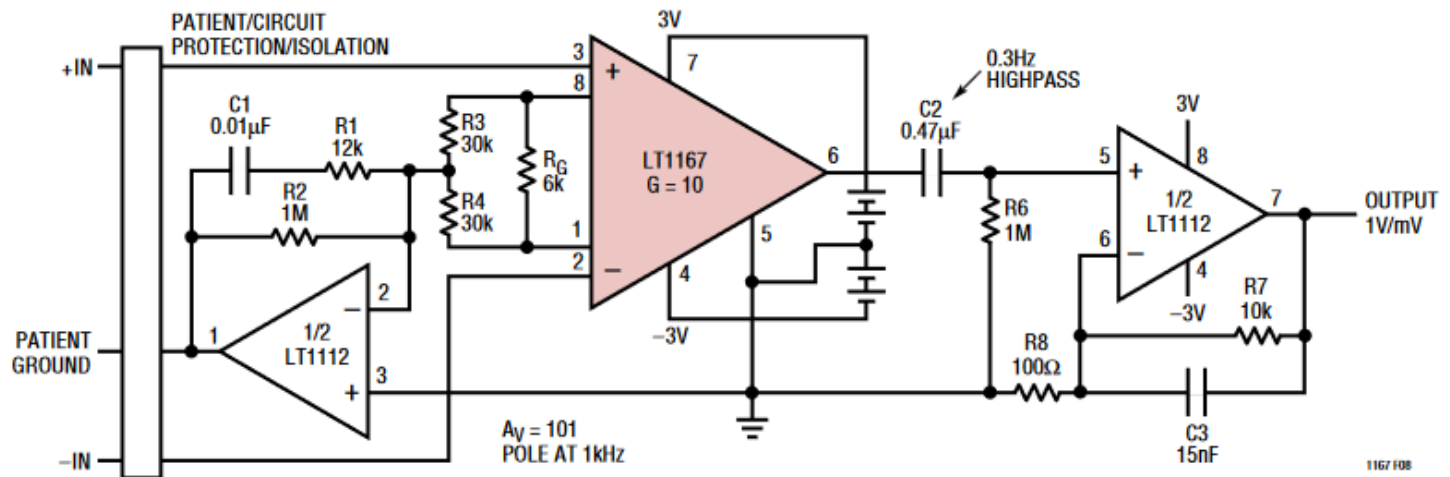
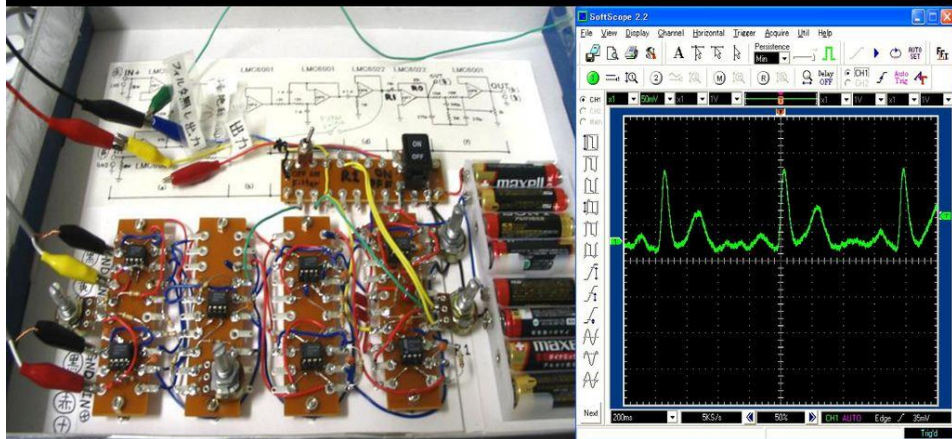


Figure 8. Nerve Impulse Amplifier

# 電源の簡略化

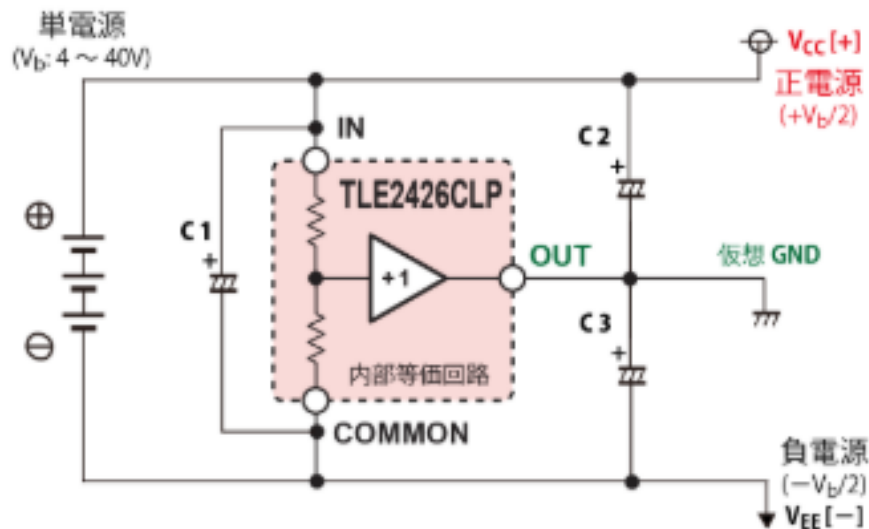
## 心電計の実験 ECG (Electro Cardiogram)

心電計を用いた心電図測定を行う。  
差動増幅回路、雑音を抑制する回路の動作原理、  
デジタルオシロスコープの特徴を理解する。



作動増幅回路などのアンプは通常 $\pm 5V$ の  
両電源が必要になるので、巨大化する。

DCDCコンバーターで5Vに昇圧後、  
レールスプリッターで中心電圧を取  
得し、 $\pm 2.5V$ とすることで、 $\pm$ 両電  
源を得ている。電池1本で済むので  
コンパクトになる。



# デジタル値をuSに変換するには？(キャリブレーション)



**SCVal = map(Value, fromLow, fromHigh, toLow, toHigh)**

value: 変換したい数値

fromLow: 現在の範囲の下限

fromHigh: 現在の範囲の上限

toLow: 変換後の範囲の下限

toHigh: 変換後の範囲の上限

$$\text{コンダクタンス(uS)} = 1 / \text{抵抗値}(\Omega) \times 1000000$$

24k $\Omega$ (赤黄橙金)の場合  $1/24000 \times 1000000 = 41.666\text{uS}$

1M $\Omega$ (茶黒緑金)の場合  $1/1000000 \times 1000000 = 1\text{uS}$

※実際の抵抗値には誤差があるので測定が必要