

図11-7-3 サーマスタによる温度測定のスケッチ

```
rr1=R1*n/(1024.0-n);
```

rr1に求められたサーミスタの抵抗値を用いて、次の命令で温度を求めtにセットします。

```
t=1/(log(rr1/R0)/B+(1/T0));
```

以上で温度の計測が完了したので次のスケッチでLCDへの表示を行います。

```

lcd.clear();
lcd.print("n=");
lcd.print(n);
lcd.print(" rr1=");
lcd.print(rr1);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("temp=");
lcd.print(t-273.15);
delay(500);
}

```

delay(500)で少しタイムラグを置きながら繰り返します。完成したスケッチを図11-7-3に示します。このスケッチで実際に気温を測定しているようすを図11-7-4に示します。

Arduinoでは対数計算も問題なく対応できるので、サーミスタの測定値から数行の計算で温度が求まります。

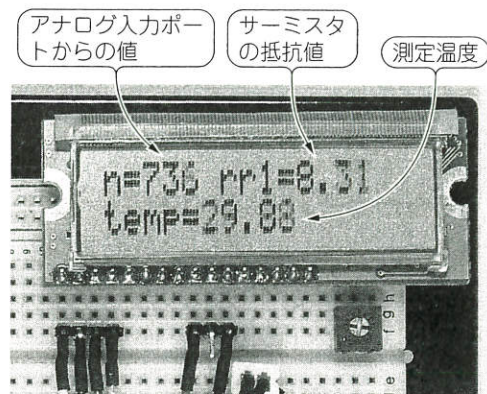


図11-7-4 サーマスタによる気温測定

11-8 ストレイン・ゲージによる重さの測定

金属の弾性変形の様子をストレイン・ゲージで調べ、フックの法則に従えば、金属に加わった重量を測定することができます。この項は、スイッチサイエンスで発売している図11-8-1に示すストレイン・ゲージを使用します。ほかのストレイン・ゲージを使用する場合も基本的に同様に処理できます。このセンサは、最大荷重が110ポンドと約50kgまで量ることのできる電子台秤用のようです。

◆ センサからは3本のリード線が出ている

図11-8-1に示すセンサからは黒、白、赤の3本のリード線が出ています。この各リード線間の抵抗値を測定しました。測定結果は黒-白間 2.07kΩ、赤-黒間 1.03kΩ、赤-白間 1.03kΩとなりました。赤-黒間は荷重を加えると抵抗値が増減しました。このセンサに2本の抵抗を追加して、測定のためのブリッジを作ります。

◆ 重量センサを万力で固定

このセンサは、台秤用のセンサでこのセンサを固定する治具が必要になります。このセンサに合う固定用の治具が見つからず自作も少し困難なので、今回のテストでは図11-8-2に示すように万力で挟んで固定することにしました。センサの先にフックをぶら下げ、そのフックにいろいろな荷重になるものを入れたトートバッグを吊り下げます。

通常、万力は上に向けて固定しますが、今回は、図11-8-3に示すように角材に万力を固定し、その角材を水平な机にバイスで固定しました。荷重が大きいと角材がねじれるので、できるだけ大きな角材を使うか、厚手の板を使用します。

◆ 荷重は身近な重いものをトートバッグに入れ作る

荷重になるものとして、図11-8-4に示すように5kgの漬物の重石二つで11kg、体重計で重量を確認しました。その他に、ペットボトルのみりん、そばつゆ、2lの空のペットボトルに水を入れた物を用意しました。これらは、A&D製はかりUH-3201-WのMAX 3kg、最小0.1gの電子秤で秤量しました。

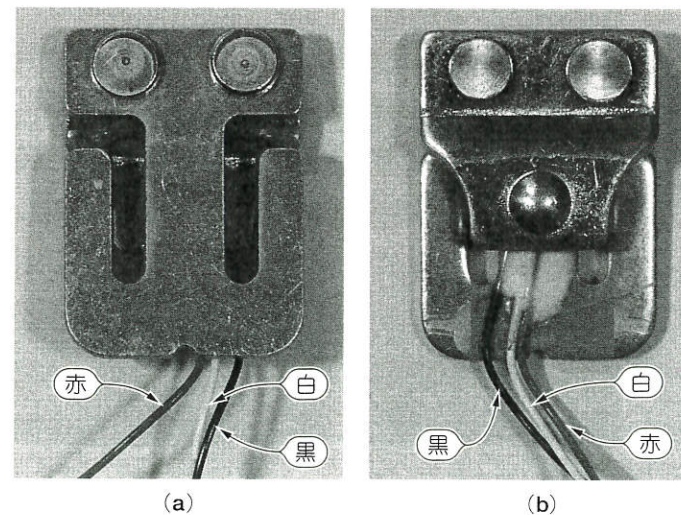


図11-8-1 重量センサ(ストレイン・ゲージ)

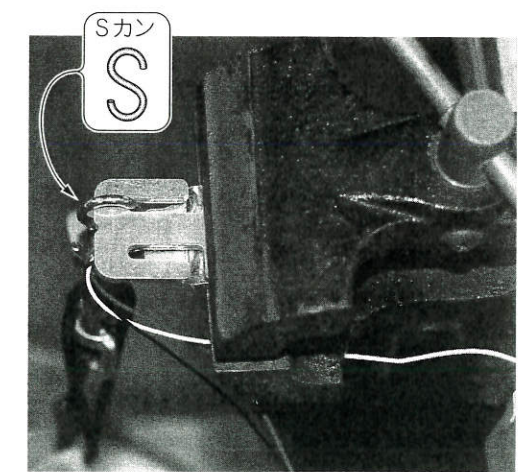


図11-8-2 万力でセンサを固定する

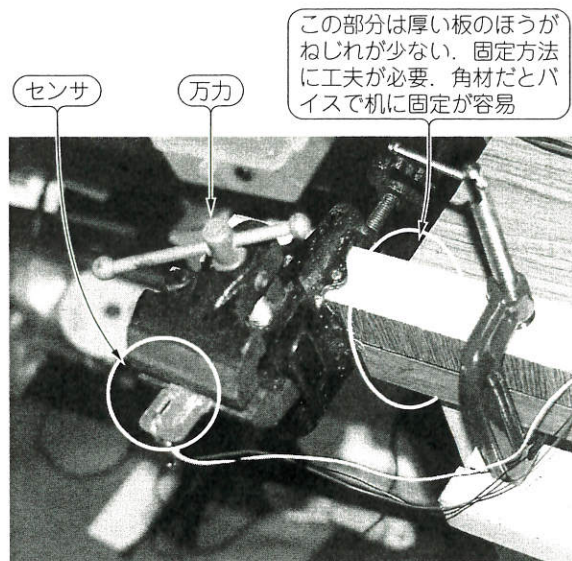


図11-8-3 万力を横に向けてセット

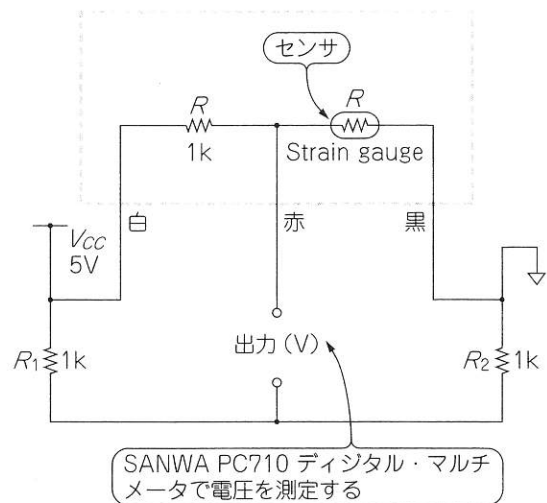


図11-8-5 重量検出のためのブリッジ回路

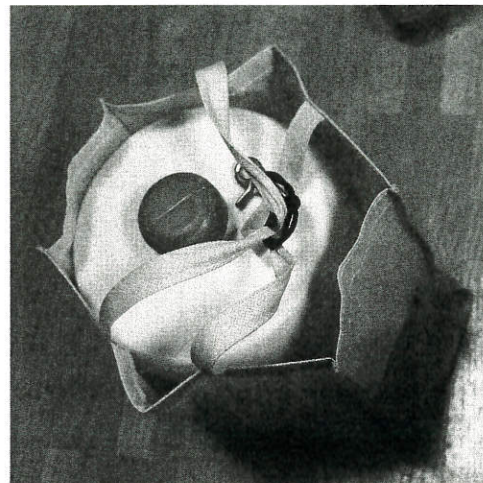


図11-8-4 身近なもので荷重のサンプルを作る

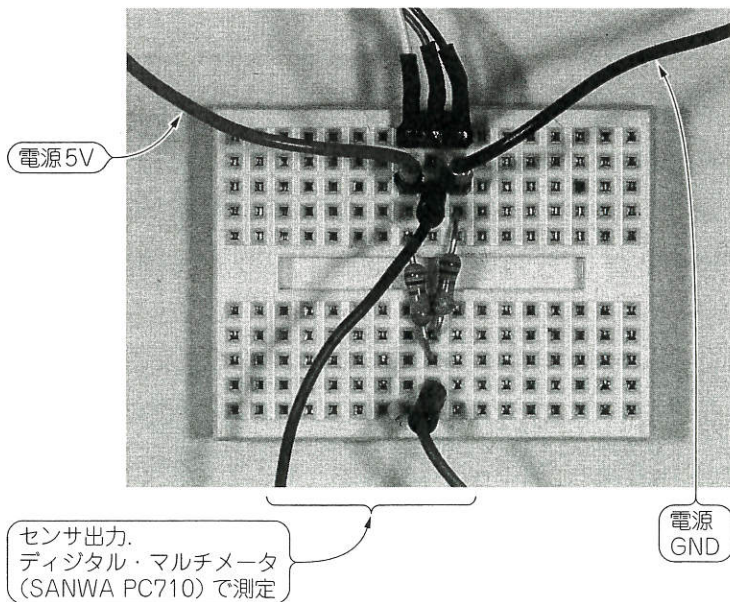


図11-8-6 重量センサの出力を検出するブリッジ回路

● ストレイン・ゲージの抵抗値の変化を検出する回路

センサからの出力は図11-8-5のブリッジ回路に5V電圧を加え測定すると、ブリッジの出力電圧は数mVとなります。具体的なテスト回路は図11-8-6に示すように小型のブレッドボード上に作ります。電源はArduinoマイコン・ボードから取り出し、ブリッジ回路の+5VとGNDに接続します。後ほど、ブリッジの出力電圧はArduinoで処理します。

センサの出力電圧は数mVですが、SANWAのデジタル・マルチメータのPC710は0.01mVまで測れるので、このPC710で測定します。

◆ デジタル・マルチメータの測定結果

荷重が0のときでも2.12mVのセンサからの出力があります。ブリッジに零点調整用の可変抵抗を挿入して無荷重のときに出力をゼロとすることもできますが、後でArduinoに接続するのでスケッチで補正することにします。

図11-8-7に測定結果を示します。抵抗のバラつきや、ブレッドボードなどで接触抵抗などが一定しないため、無負荷のときの出力がバラつきます。同じ状態で、荷重を変え繰り返したときの再現性は悪くありません。次に図11-8-8に示すように、センサを裏返してセットして測定した結果を図11-8-9に示します。荷重を加えると今度はストレイン・ゲージが伸び抵抗値が下がります。そのため裏返す前と反対の傾きになっています。ただし、電源の接続も反対にするとプラスの傾きをもった直線になります。

● Arduinoのアナログ入力に対応するためブリッジの出力を増幅する

ストレイン・ゲージの数mVの出力をArduinoのアナログ入力で十分に読み込めるように、1V以上の出力が得られるように増幅します。この増幅のために、計装アンプと呼ばれる増幅器を使用します。ここではリニアテクノロジーのワンチップ計装アンプLT1167を使用しました。

一般に計装アンプは図11-8-10に示すように三つのOPアンプで構成されています。この回路は、リニアテクノロジーのLT1114が4個パッケージになったクワッドのOPアンプで構成した計装アンプの例で、LTspiceでシミュレーションした結果です。

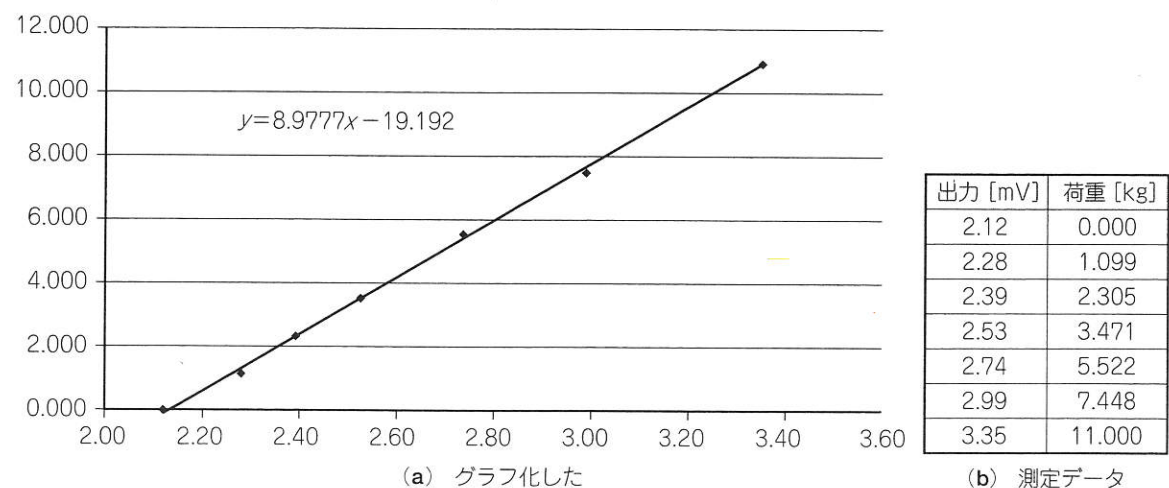


図11-8-7 ブリッジの出力電圧と荷重

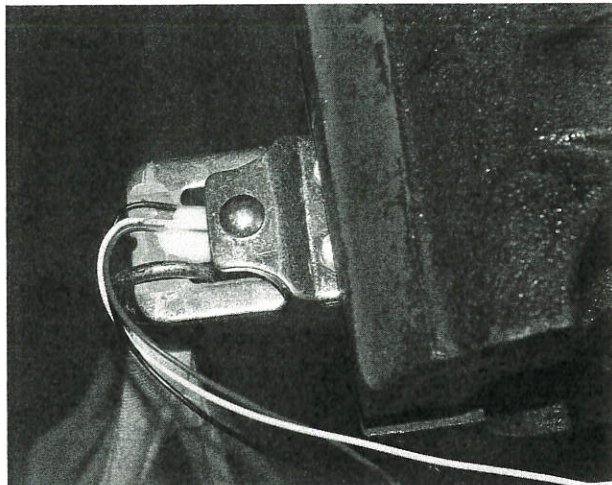
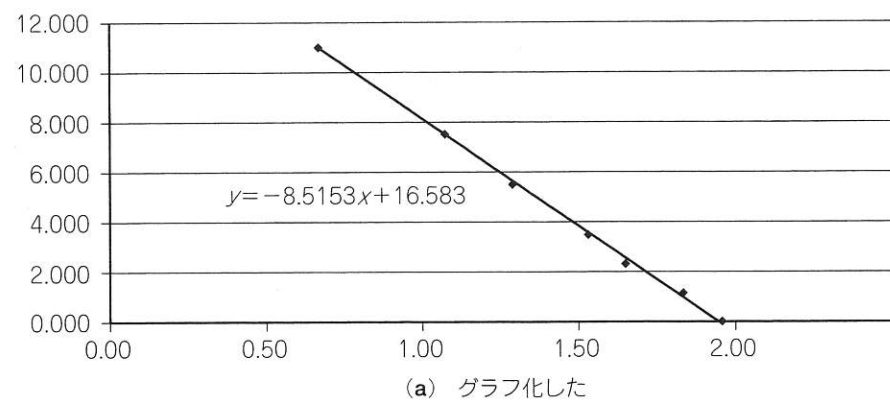


図11-8-8 センサを反転してセットする



| 出力 [mV] | 荷重 [kg] |
|---------|---------|
| 1.96 | 0.000 |
| 1.84 | 1.099 |
| 1.65 | 2.305 |
| 1.53 | 3.471 |
| 1.29 | 5.522 |
| 1.07 | 7.448 |
| 0.67 | 11.000 |

(b) 測定データ

図11-8-9 回路をそのままにしてセンサを反転すると

入力信号は赤い1Vの正弦波が計装アンプの±の入力に同相で加わっています。この正弦波にプラスして上段の水色の1mVの正弦波が、計装アンプの入力に加わっています。ただしこの1mVの正弦波はプラス入力とマイナス入力の間に加わっています。そのため、同相で加わった1Vの正弦波は増幅されず、1mVの信号のみ下段の緑色の1Vの振幅をもつ正弦波として増幅されています。

この性能を出すためには、外付けの抵抗を同じ値にしなければなりません。しかし、一般に入手できる抵抗は高精度のものであっても1%の金属皮膜抵抗です。

これらの抵抗などをレーザー・トリミングして可能な限り同一の値にし、計装アンプとしての高精度な性能をもったワンチップICも各社から用意されています。今回はまずその中で秋月電子通商から1個400円で販売されているLT1167を使用します。このLT1167のブロック図を図11-8-11に示します。入力には過電圧の保護回路が加わり、計装アンプとして必要なものはゲインの調整用の R_g 抵抗以外はすべて内蔵されています。

パッケージは図11-8-12に示すように、電子工作ではありがたい8ピンDIPのパッケージになっていて、ノイズ対策、発振などの問題はありますが、ブレッドボードでも何とか動作の確認はできそうです。

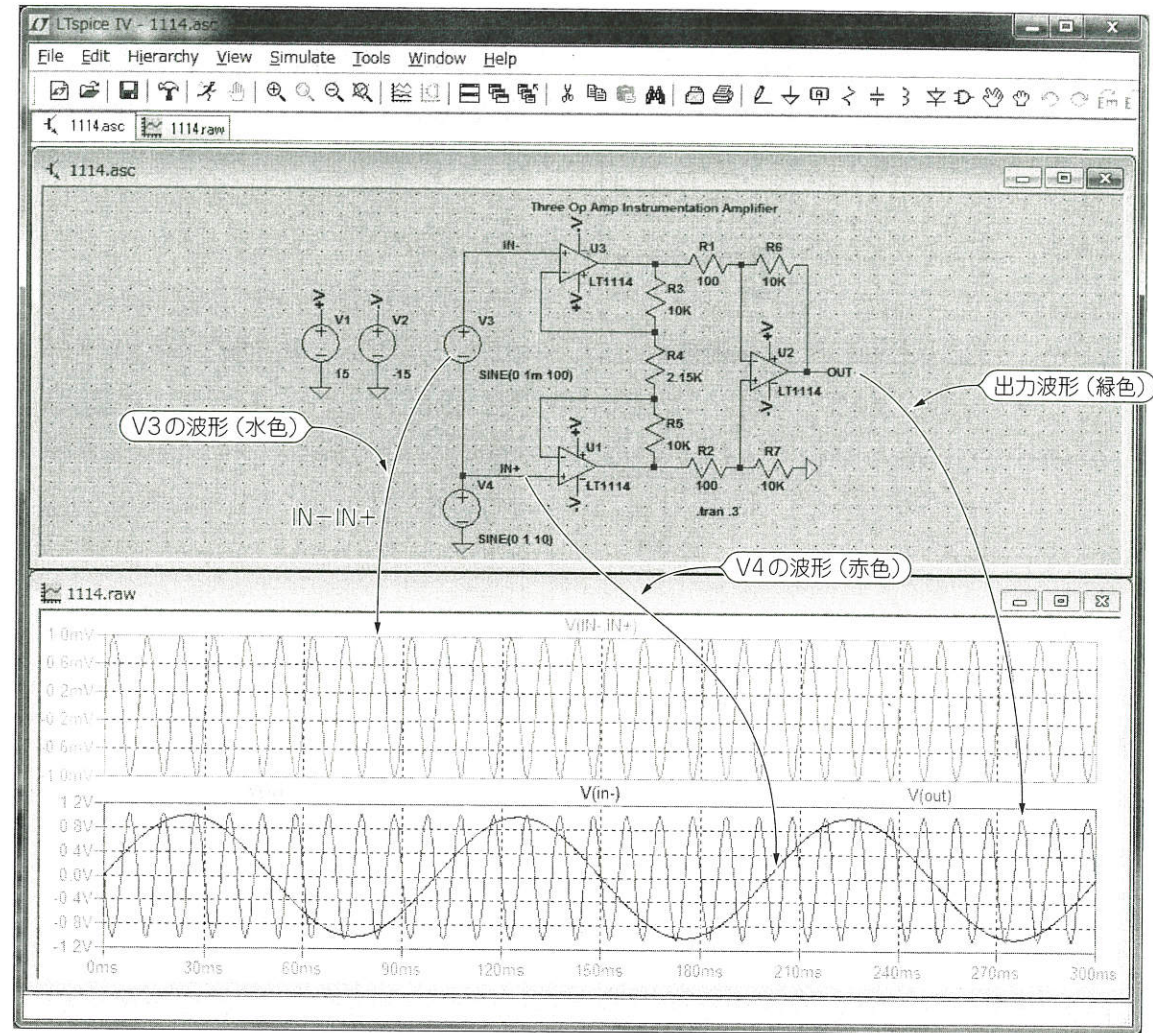


図11-8-10 LTspiceによる計装アンプの動作確認

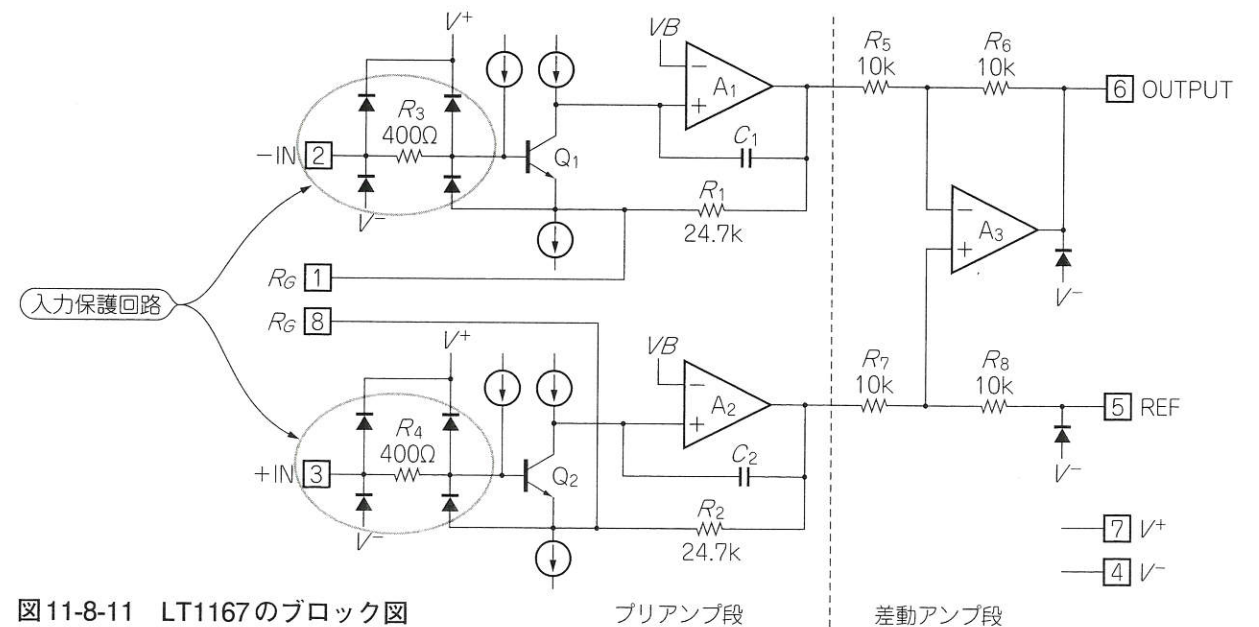


図11-8-11 LT1167のブロック図

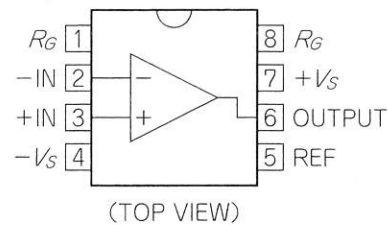


図11-8-12 LT1167のピン配置

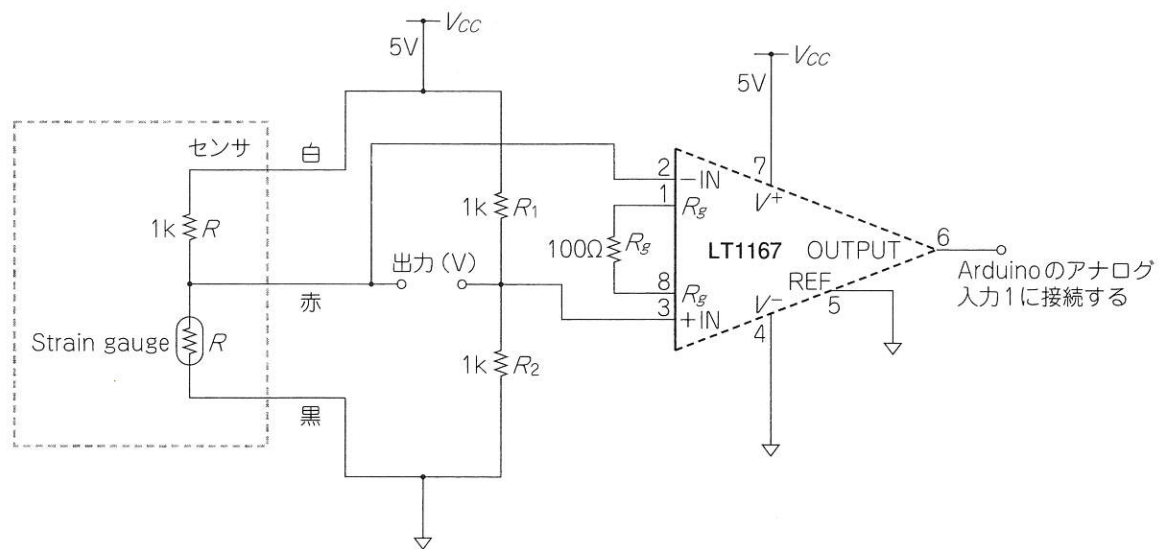


図11-8-13 LT1167によるセンサの出力の増幅回路

ストレイン・ゲージからの出力を受け増幅する回路を図11-8-13に示します。LT1167は単電源で使用することもできますが、レールtoレールではないので、 $-V$ の端子にグラウンドをつなぐと出力は0V ~ 600mVくらいまで直線性がなく、出力は600mV以上に増幅する必要があります。

そのためゲインを約500倍になるように R_g の値を100Ωにしました。ゲインは図11-8-11のブロック図の $R_1 + R_2$ の49.4kΩと R_g の値から次のように計算されます。

$$\begin{aligned} G &= (49.4 \text{ [k}\Omega\text{]}/R_g) + 1 \\ &= (49.4 \text{ [k}\Omega\text{]}/100 \text{ [\Omega]}) + 1 \\ &= 501.4 \end{aligned}$$

重量センサのブリッジ回路と増幅回路の回路図を図11-8-13に示します。この回路を、ブレッドボード上に配置したようすを図11-8-14に示します。積層セラミック・コンデンサは発振防止、電源のインピーダンスを下げるためのもので配線の置き方でも変わります。荷重と増幅したブリッジの出力電圧の関係を表11-8-1に示します。増幅されたセンサの出力電圧と荷重の回帰式を求めるために、EXCELで作成したグラフを図11-8-15に示します。このグラフから求めた回帰式でArduinoのスケッチを作成します。

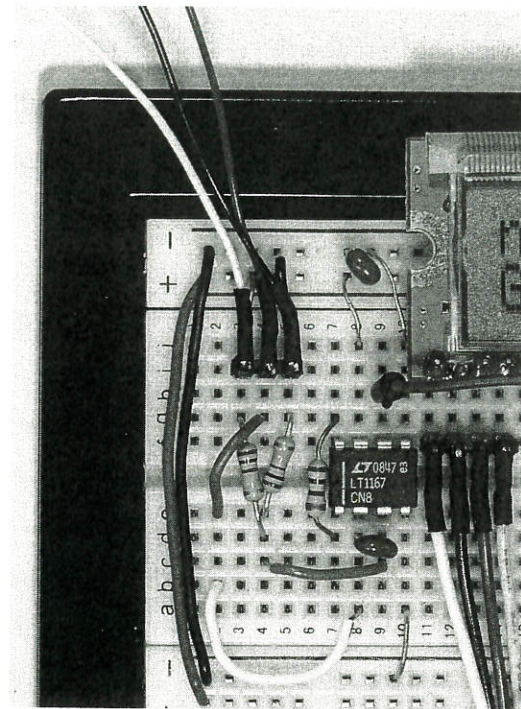


図11-8-14 LT1167によるセンサの出力の増幅回路をブレッドボード上に配置したようす

表11-8-1 荷重と増幅後の電圧の関係

| 荷重 [kg] | ブリッジの出力 [mV] | 増幅後の電圧 [V] |
|---------|--------------|------------|
| 11.000 | 3.19 | 1.543 |
| 7.448 | 2.75 | 1.348 |
| 5.522 | 2.48 | 1.245 |
| 3.471 | 2.29 | 1.133 |
| 2.305 | 2.19 | 1.075 |
| 1.099 | 2.01 | 1.011 |
| 0.000 | 1.92 | 0.956 |

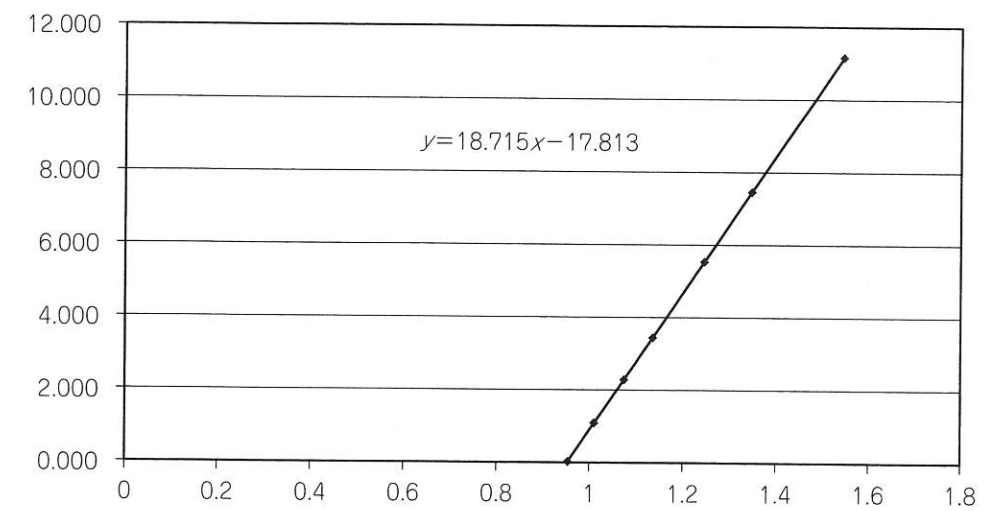


図11-8-15 ブリッジの増幅値と荷重の関係

● スケッチの作成

Arduinoのスケッチを図11-8-16に示します。アナログ入力のデータを10回読み取り平均値を求めています。svf, snは平均値を求めるための変数で、for文のループで10回データを累計します。

```
svf=0;
sn=0;
for (int i=0; i<10;i++) {
  n=analogRead(1);
  vf=n*RV/1024.0;
```



```

ardensens1500010 | Arduino 1.0
File Edit Sketch Tools Help
ardensens1500010 $
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(2,3,4,5,6,7);
float RV=5.01,vf,fg,svf;
int n,sn;
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16,2);
}
void loop(){
  svf=0;
  sn=0;
  for (int i=0; i<10;i++) {
    n=analogRead(1);
    vf=n*RV/1024.0;
    svf=svf+vf;
    sn=sn+n;
    delay(30);
  }
  vf=svf/10.0;
  n=sn/10;
  fg=18.715*vf-17.813;
  lcd.clear();
  lcd.print("n=");
  lcd.print(n);
  lcd.print(" rv=");
  lcd.print(vf*1000);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("G = ");
  lcd.print(fg);
  delay(500);
}

```

図11-8-16 重量センサによる計量のスケッチ

```

svf=svf+vf;
sn=sn+n;
delay(30);
}

```

各読み取りの間に30msの間隔をあけています。10回繰り返しても1秒以下で、表示の遅れが生じない範囲で決めました。バラつきの状況に応じてほかの値も試してください。

```

vf=svf/10.0;
n=sn/10;
fg=18.715*vf-17.813;

```

平均値を求めて、回帰式から重量を求めています。スケッチの実行結果を図11-8-17に示します。

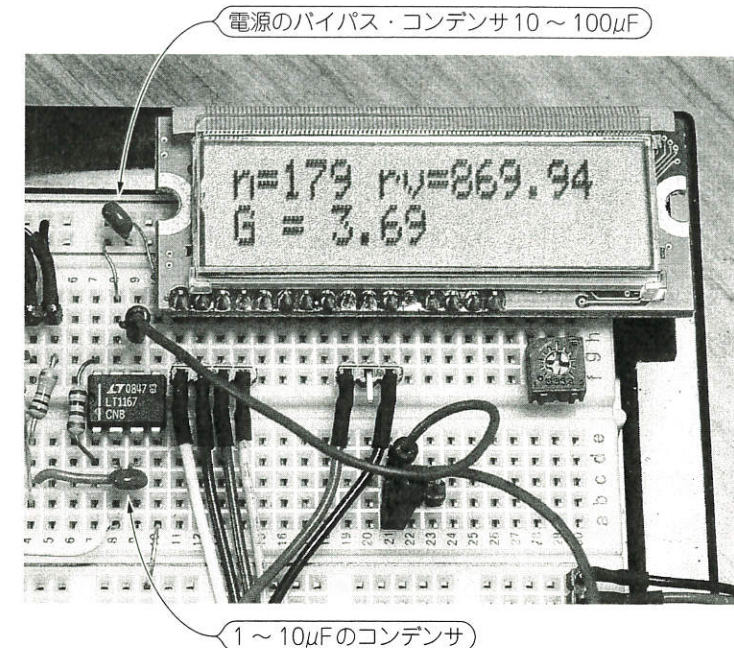


図11-8-17 重量を計るスケッチの実行結果

● センサ出力の増幅

今回使用した計装アンプは単電源で利用できますが、プラスおよびGND側のそれぞれ0.6Vくらいの範囲の出力ができません。出力が0V ~ 600mVくらいになる範囲では常に出力が0.6 ~ 0.7Vの一定の値になります。今回荷重がゼロのとき0.95Vだったので問題が生じませんでした。

0V近くからの出力が必要な場合、次の二つの対策が考えられます。

- ① AD623のような単電源でレールtoレール出力の計装アンプを選択する。
- ② ref 0.7V以上の基準電圧を加えると、この基準電圧を0Vとして出力できる。ただしrefを加える回路のインピーダンスが問題になるので少し工夫が必要。

これらについては、データシートのサンプルを参考にしてください。

ブレッドボード上に構成したためか、増幅後の出力が大きく変動します。USB電源を使用する場合、取り出すUSBポートによってノイズが変動します。バイパス・コンデンサを挿入しても発振する場合がありますが、±の入力端子間に1 ~ 10μFの交流分をカットするためのコンデンサを挿入し、電源をAC-DCアダプタからの電源に変えたら、A-D変換の最後の1デジットが変わるだけになりました。

今回のように、同じブレッドボード上にただまとめただけでは動作の確認はできますが、精密な測定にはもう少し工夫が必要になります。