

やや本格的な教材用地震計の製作

Semi-Professional Style

Seismometers for Educational Use

岡本 義雄

大阪教育大学・附属高校天王寺校舎

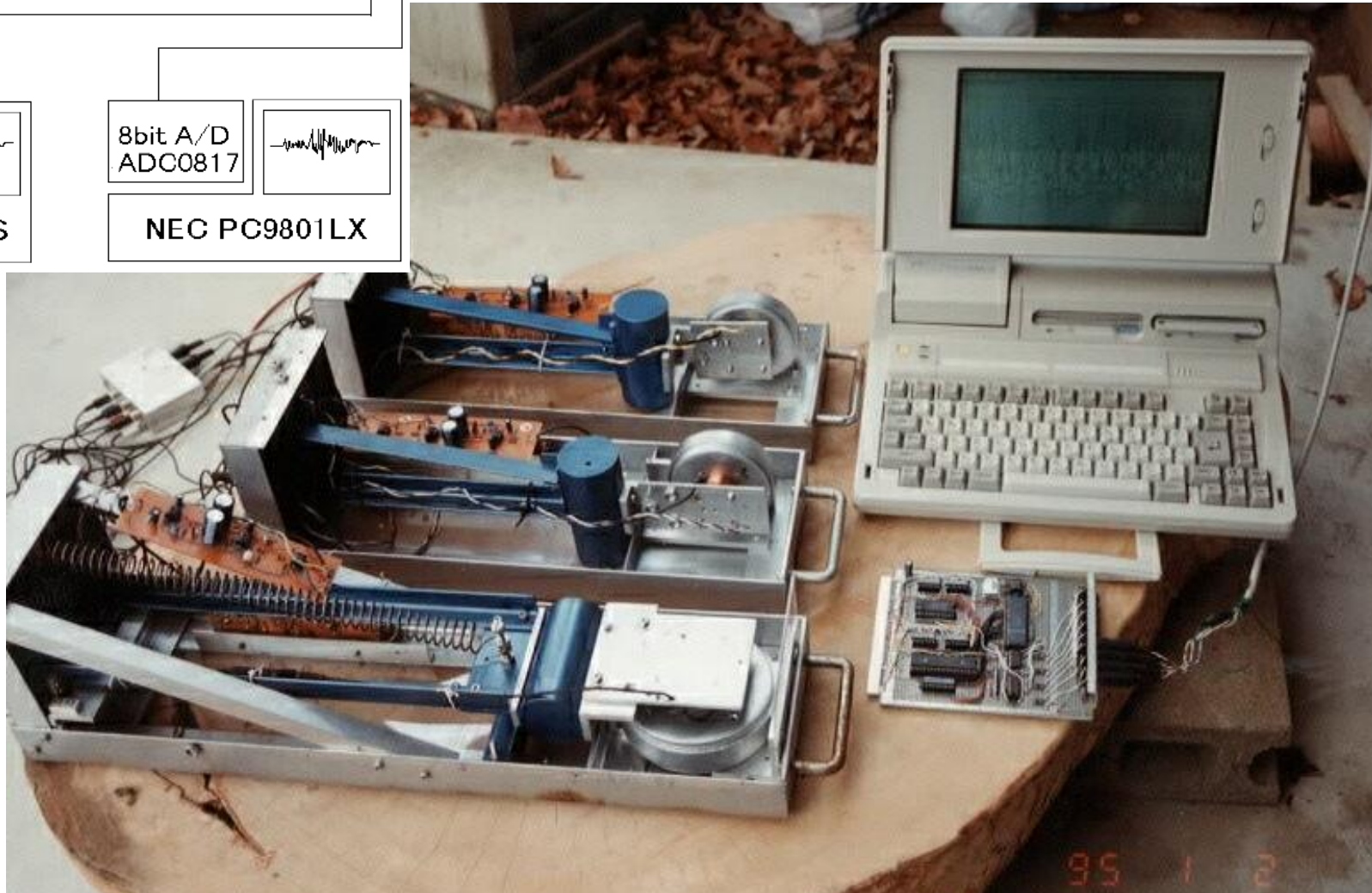
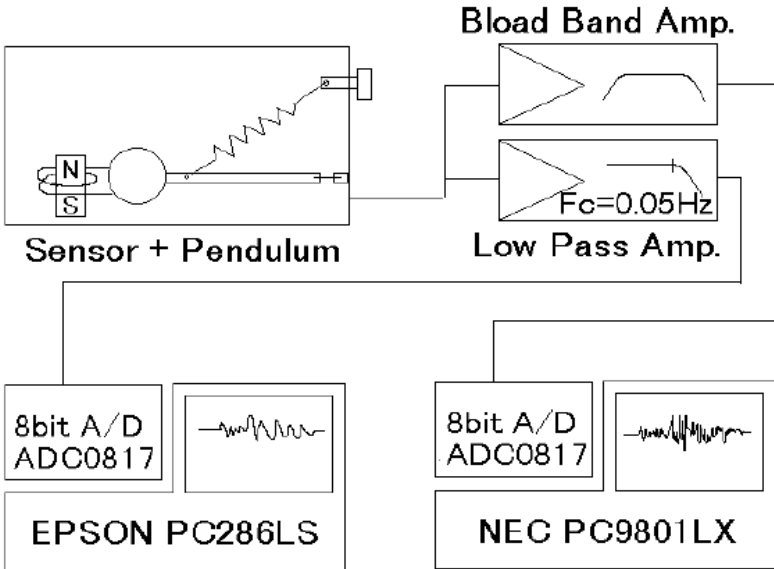
(yossi@cc.osaka-kyoiku.ac.jp)

話の概要

- **今までに開発してきた教材用
地震計**
- **今回開発した地震計の詳細**
- **機材製作の勘所・苦勞話など**

From Yoshio OKAMOTO: A Handmade Seismograph System and its Seismograms
-Make Your Own Seismograph!- abstract for GeoSciEdu III in Sydney, 2000

最初の教材用地震計 1995年当時



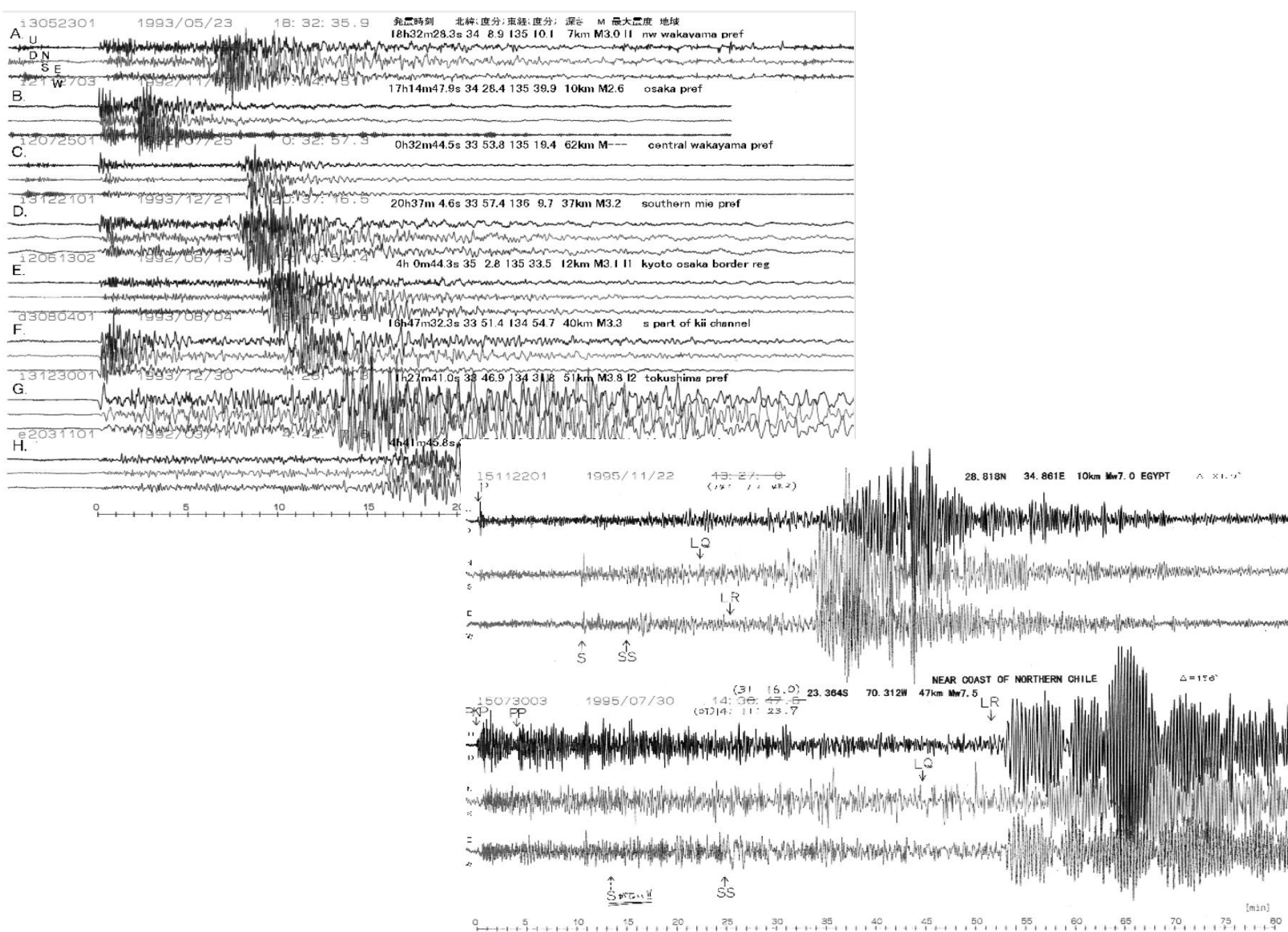


Fig.5 Seismograms of foreign earthquakes (Upper: Egypt Mw7.0 Lower: Chile Mw7.5).



フィルムケース地震計 (簡易型地震計), 1997

日本地震学会広報紙「なみふる」創刊号より連載

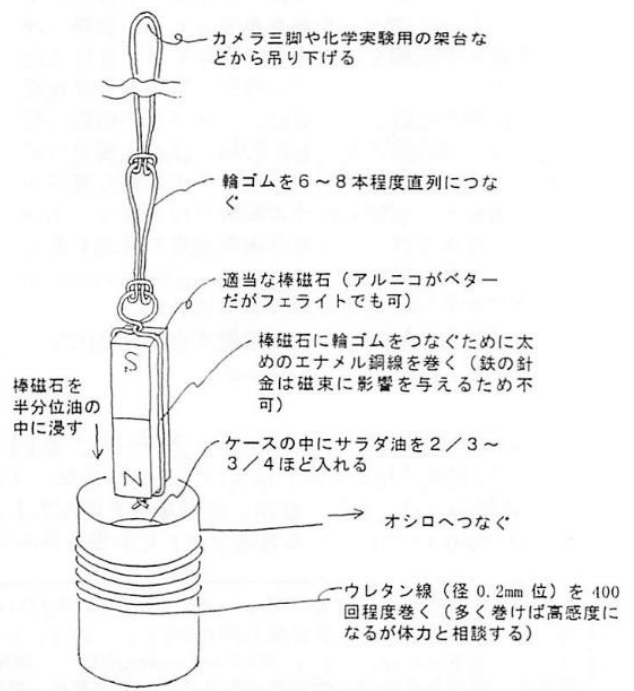


図2 フィルムケース地震計センサー部の組み立て

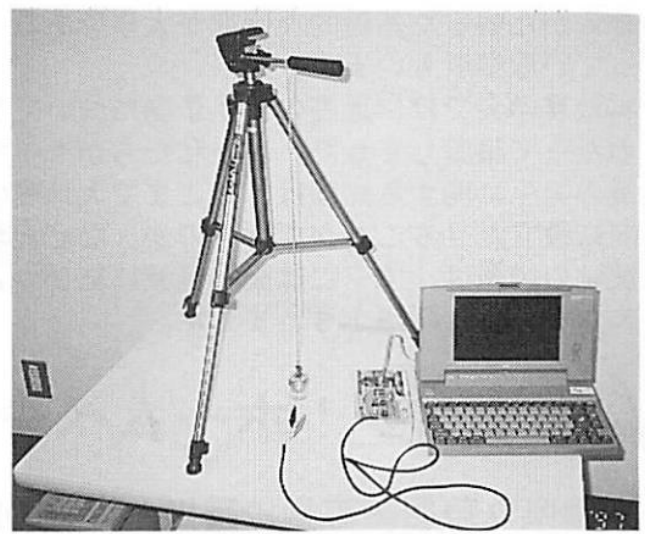


図1 フィルムケース地震計全景



教室でできる地学実験

リバイバル



ANB地震計を作ろう! ①

大阪教育大学 非常勤講師 岡本 義雄

地震計を自分で作ってみませんか? なみふる創刊時から18年の時を経て、リバイバルです。3回シリーズで本格的な地震計を完成させます。Arduino Neodymium Balance (ブランコの意味のポルトガル語) 地震計、AKBならぬANB地震計と名づけました。

本号では揺れを検出するセンサー部を製作します。夏休みの自由研究にいかがでしょう?

はじめに

「なみふる」創刊号の頃に、「フィルムケース地震計」という連載記事を書きました。あれから18年、すでにフィルムケースも、当時の計測用プログラムが動く古いPC (パソコン) も姿を消しました。しかし近年、安価・小型で使い勝手の良い計測用モジュールが登場しました。そのひと

つ、「Arduino Uno」というAD変換機能 (注1) を備えた電子基板は3,000円ほどで入手でき、PCの種類を問わず、更にはタブレットにも接続可能で、信号のデジタル値をUSBで簡単に取り込めます。またセンサー部に用いる磁石も、大変強力なネオジム磁石 (注2) が安価に入手可能となりました。今回、これらの回路や磁石を用いて、古い地震計をリニューアルすることにしました。地震計フリーク (そんな人いるかな?)

の中高生にも製作可能な手作り地震計の再登場です。この地震計の全体の概略図は図1のとおりです。今回はまず概略図の左側の地震計センサーを作ります。これだけでも工夫次第で、自由研究の良い題材になることを請け合います。Arduinoを用いた電子回路やソフトウェアは次回以降の連載予定です。また筆者の個人サイトにも製作のノウハウを公開します (<http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~yossi/ANB>)。

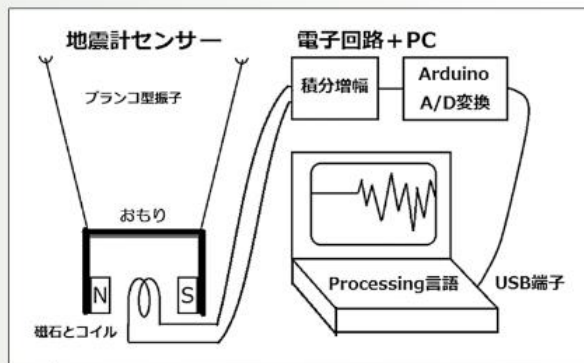


図1 地震計の概略図



次世代簡易型地震計 (日本地震学会広報紙

「なみふる」2015年7月号より連載)

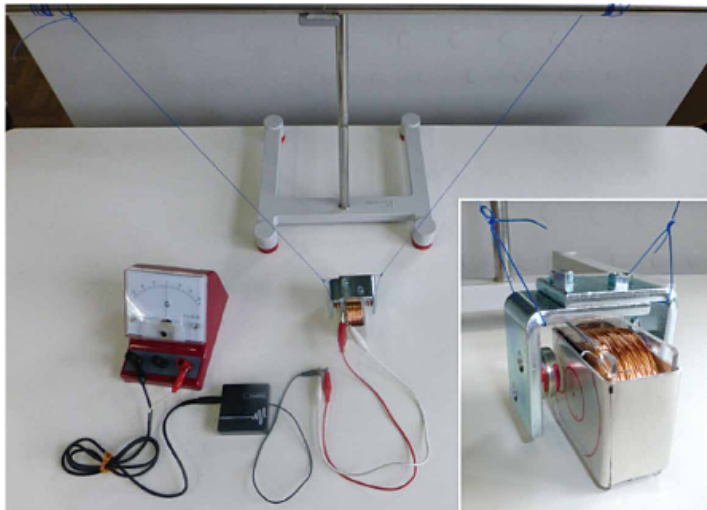


写真2 製作された地震計振り子の全体と、(右下) センサー部分の拡大

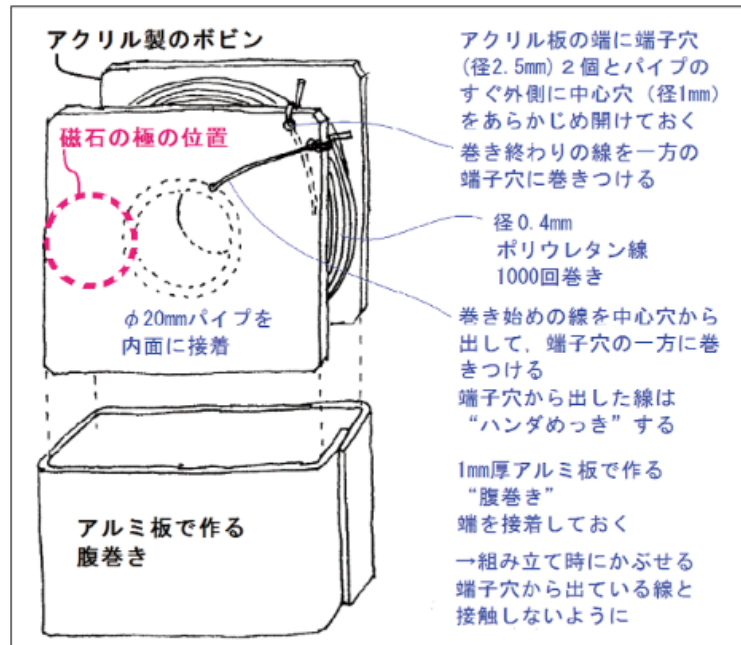


図3 コイル部分の拡大とアルミ板 (磁石の極が相対する位置を赤で示しました)

地震計の振り子とセンサーの製作

今回はまず地震計センサーからです。創刊号から連載したフィルムケース地震計は主として上下動を測定する目的でした。今回はそれを水平動用に拡張したいと思います。振り子部分の構造は図2のとおりです。この振り子部分と、地面に固定したコイルを組み合わせてセンサー部となります。センサー部を作る材料を写真1に示します。写真の脚注を参考に材料をそろえてください。これらに加え、センサーがきちんと地面の揺れをとらえるかどうかを確かめるために、検流計と“みのむしクリップ線”、さらに可能なら簡単なアンプを用意します。検流計は学校で借りるか、

せんが、長くすればするほど、ゆっくりした揺れ

に対する感度が大きくなります。つり下げには洋灯吊金具 (?字型のフック) を使うとよいでしょう。

一方、床の方にはコイルを置きます。アクリル円筒に、正方形のアクリル板2枚をアクリル接着剤で貼り付けてポビンを作り、これにウレタン線を巻いてコイルを作ります。ウレタン線は頑張って千回以上巻きまわす。端の部分は“みのむしクリップ”ではさめるように、線の端を巻きハンダをつけます(図3、写真2の拡大図参照)。ウレタン線はそのままハンダ付けできますが、銅線の場合はハンダ付けする部分の材料をはがしてください。

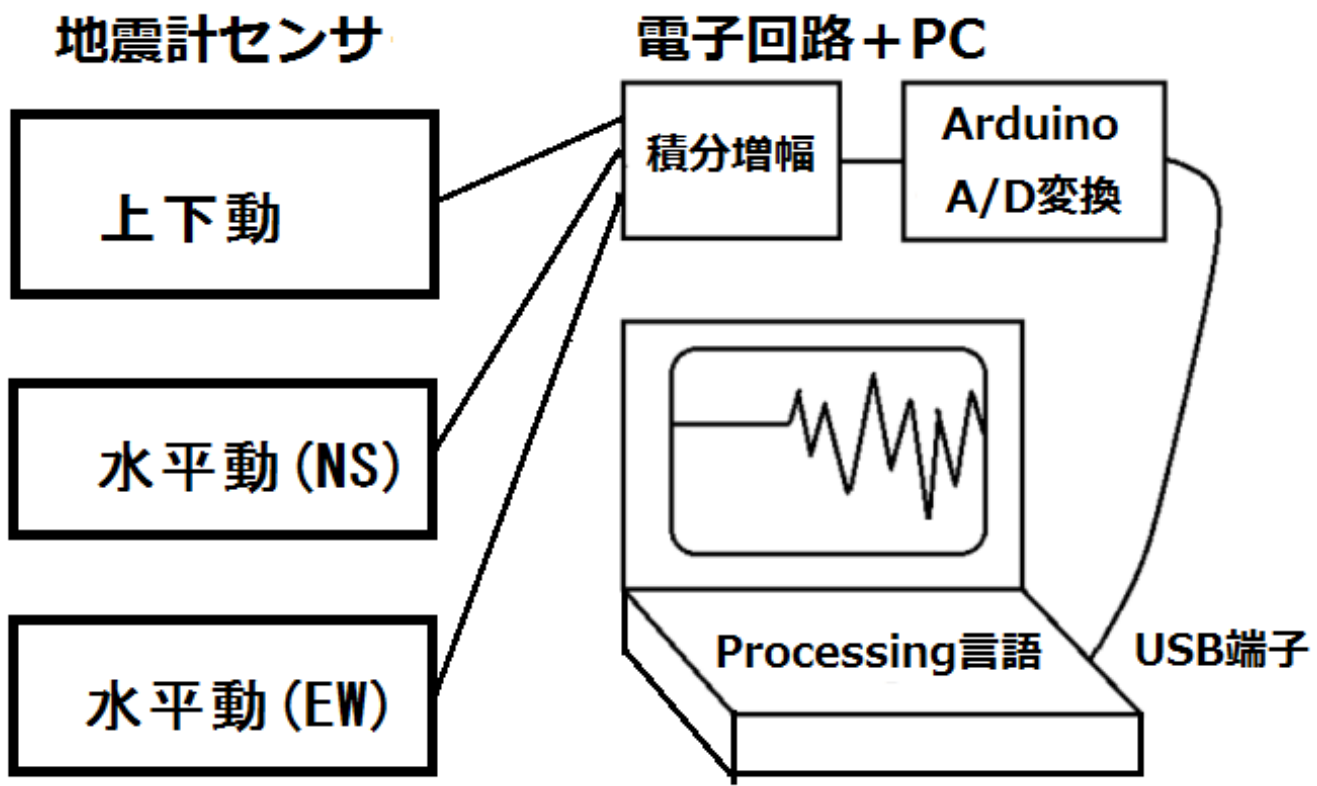
す。完成して組み立てた姿が写真2の全景です。

地震計のテスト

コイルの端を“みのむしクリップ線”でアンプにつなぎ、アンプの出力を検流計につなぎます。振り子から出る揺れが左右に振れることを確かめたいので、この揺れを左右に検流計の端子につなぐのがよいでしょう。このままでも、有線地震計などに検流計が大きい場合は教えてくれるはずですが、地震が来たときに

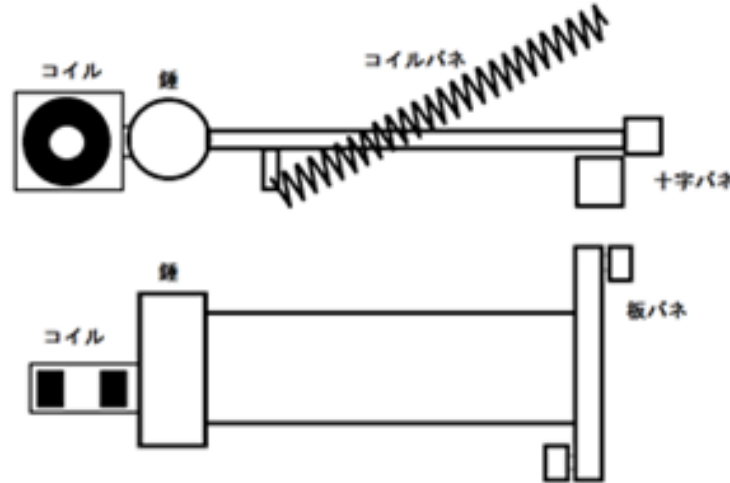
次世代簡易型地震計
(日本地震学会広報誌
「なるふる」2015年7月号より)

電子回路 & ソフトウェアの更新

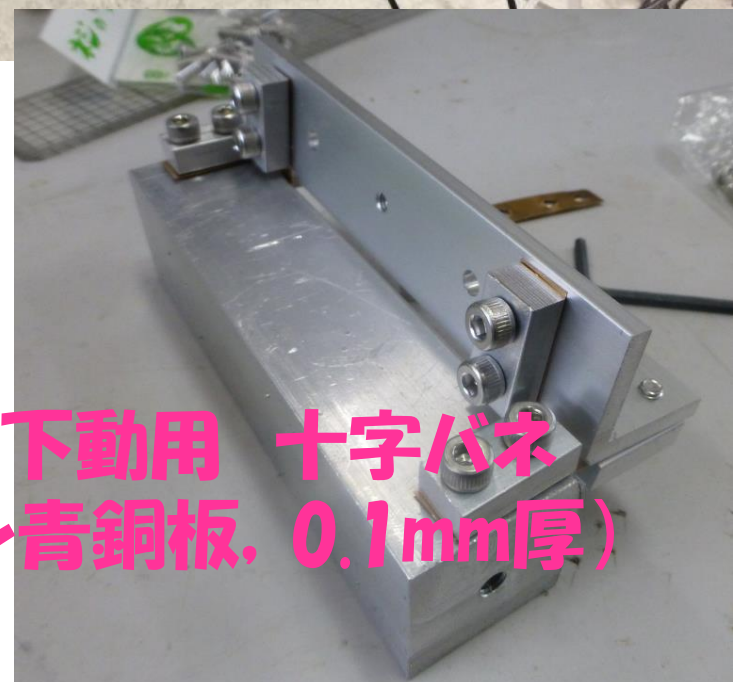
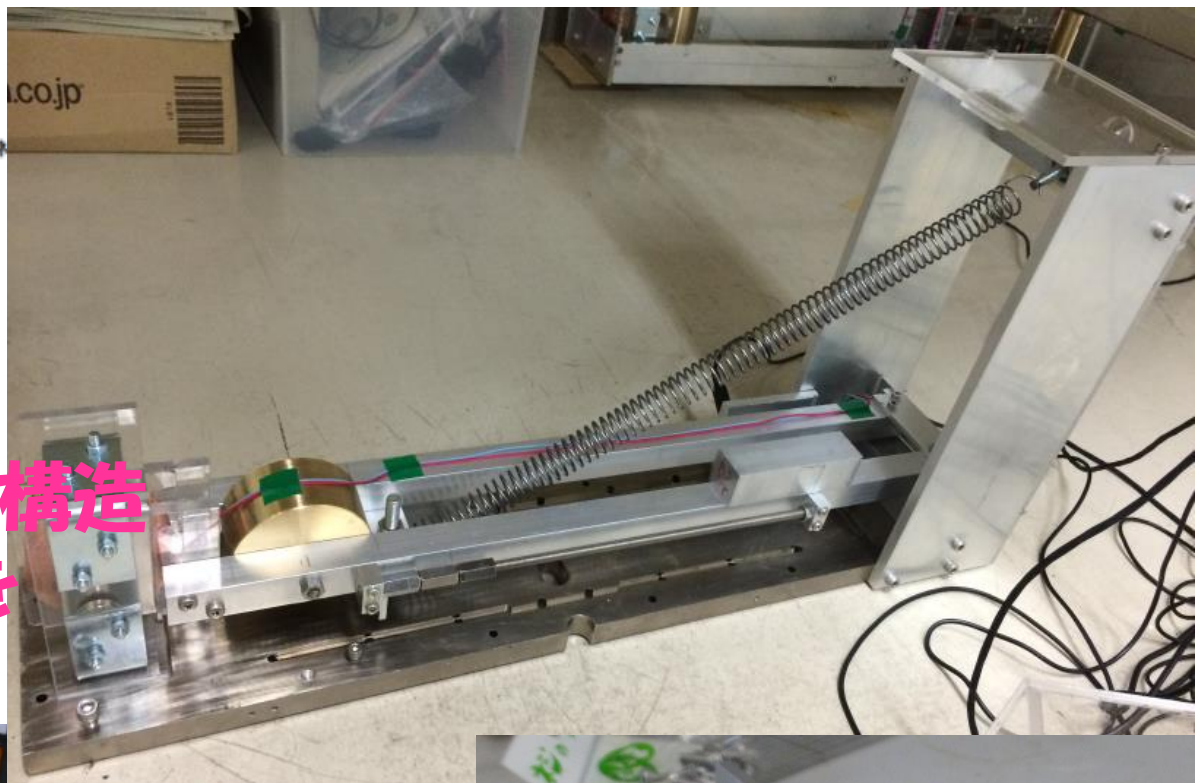


部材の更新

- 鉄からアルミへ
- 磁気回路：廃品スピーカの解体からホームセンターで入手可能な部材利用へ
- 磁気回路の形式も変更
- 手動工具から電動工具へ

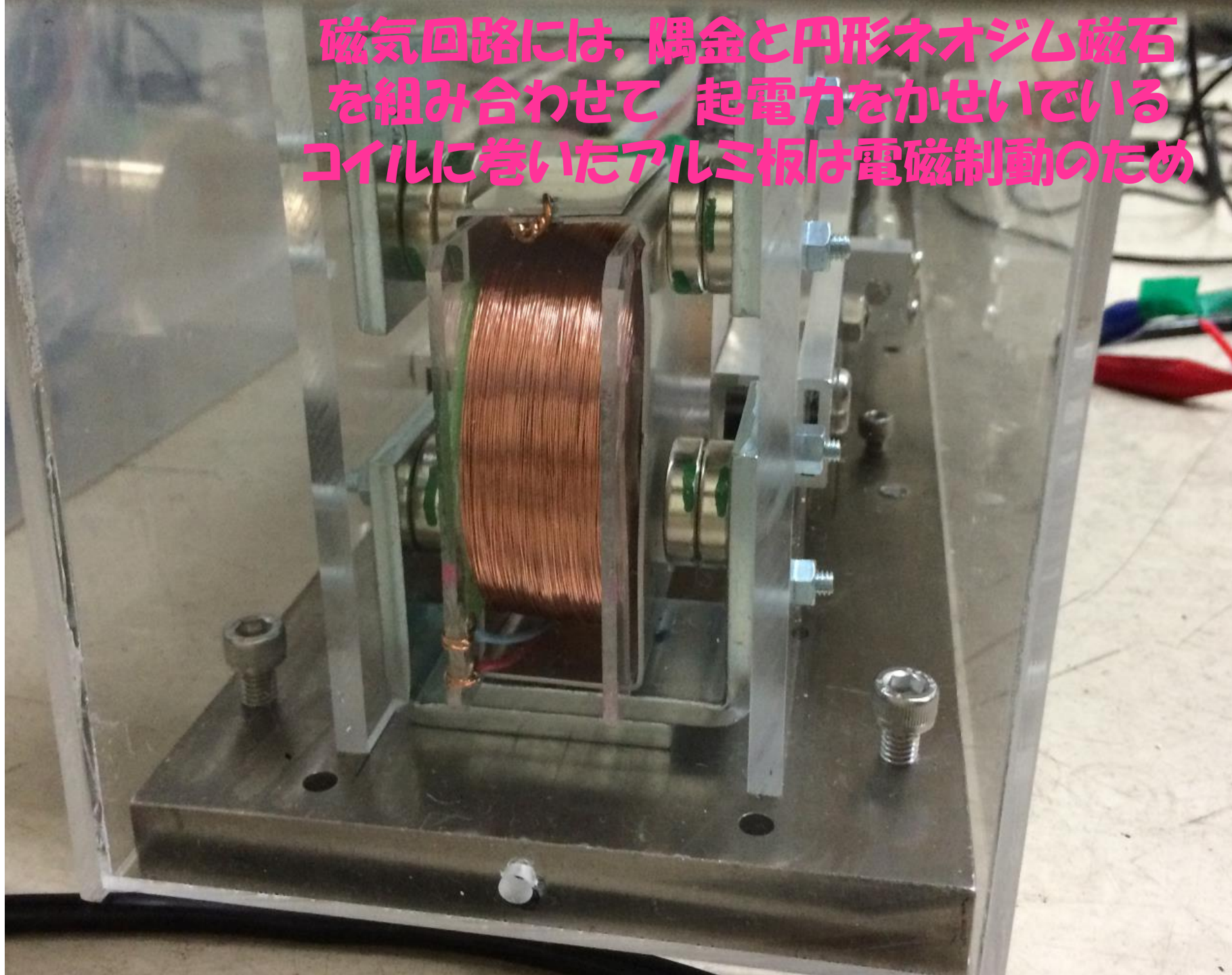


**アルミ板を主体とする構造
振子の固有周期を
5~6秒に設定**



**上下動用 十字バネ
(イン青銅板, 0.1mm厚)**

磁気回路には、隅金と円形ネオジム磁石
を組み合わせて 起電力をかせいでいる
コイルに巻いたアルミ板は電磁制動のため



ダンピング（振り子の制動）

- 地震計にとって振り子の制動は大事な機能である。
- 本製作の電磁センサ（マグネット＋コイル）では通常、コイル出力をアンプに入力する際の入力抵抗で制動を制御する。
- 本製作ではあえて、これをコイルに巻いたアルミ板による渦電流制動で行うことにした（前スライド）。
- 理由は入力抵抗で制動を行うには、同程度のコイルの巻き数による抵抗値が必要でこれは自作ではかなり難しいことがわかったから。
- 制動の定量的測定はまだ行っていない。記録波形からはそれほど振り子の共振の影響はみられない。

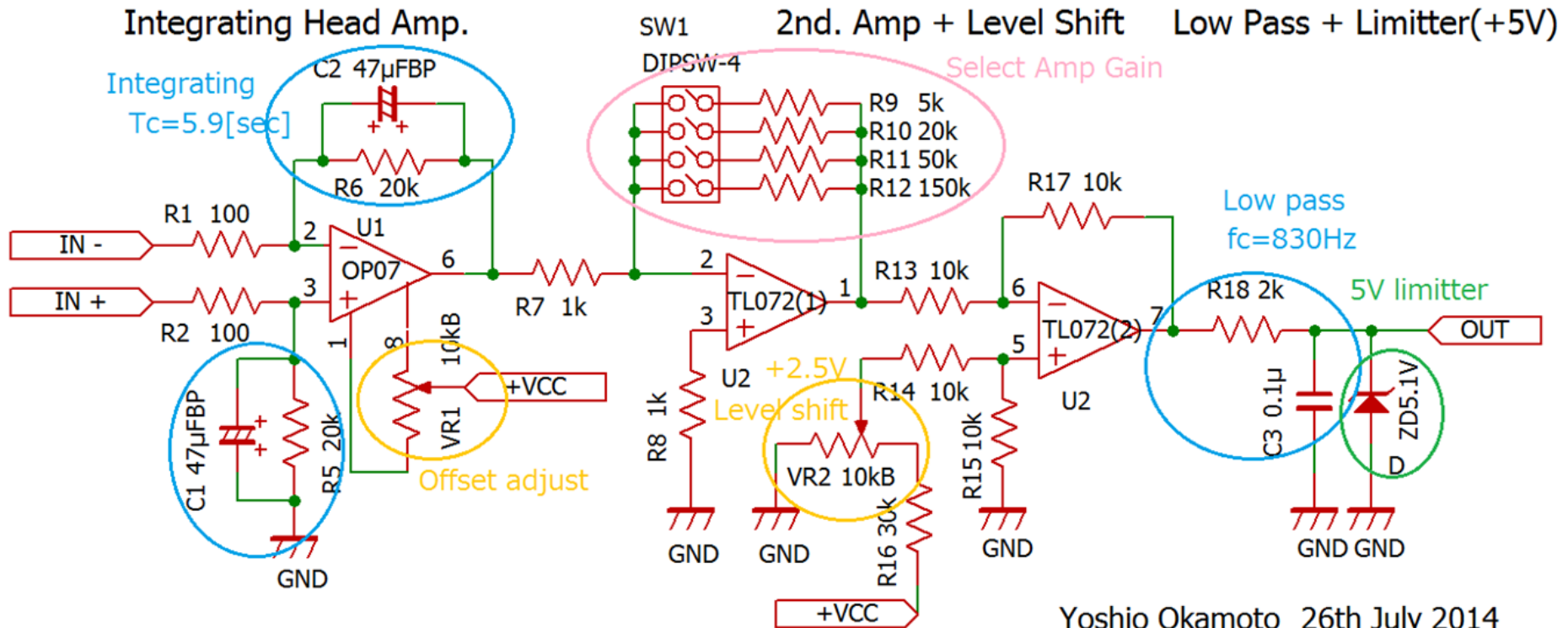
改良された電子回路基板 積分増幅+レベルシフト

1st amp. gain

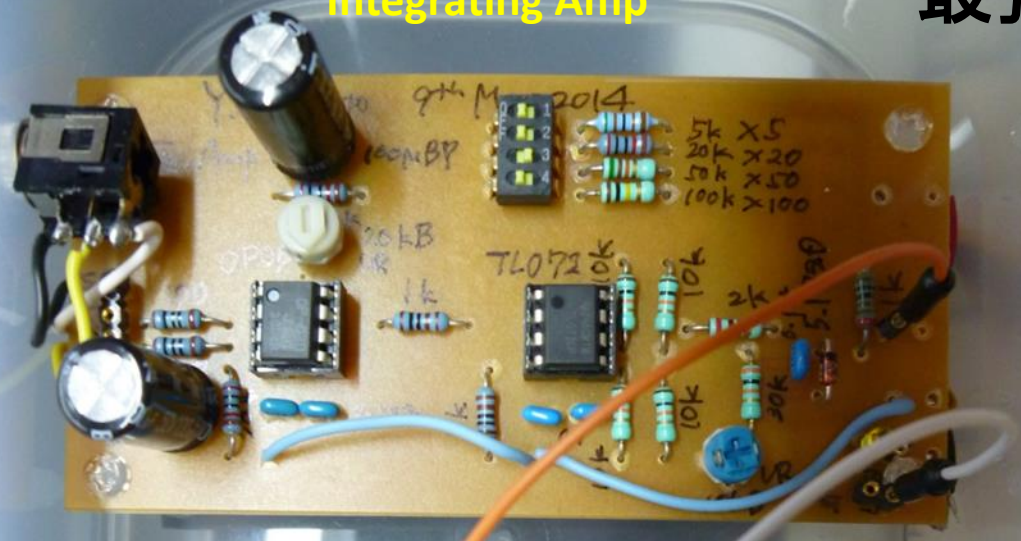
2nd amp. gain

x200(Tc=6sec, -6dB/oct)

x20~50



Integrating Amp



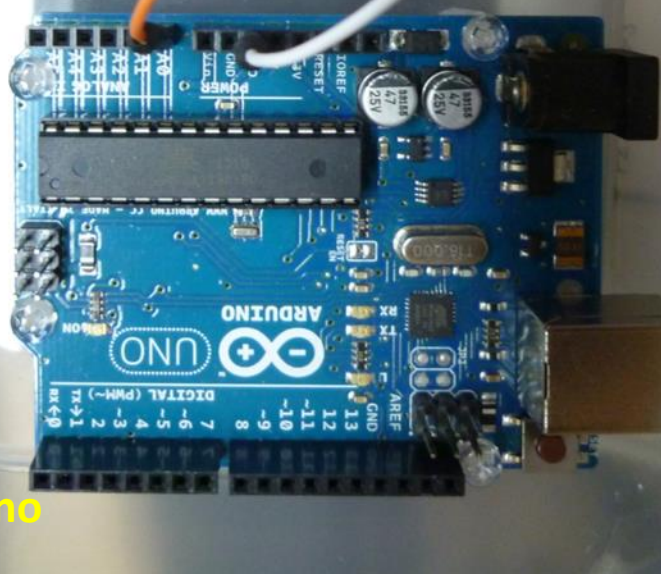
最強の素子！“Arduino Uno” (約3千円強)

A/D変換＋USB I/O

10ビットのAD変換とUSBポートからの信号処理が同時に可能。

ソフトウェアはProcessingを採用。

これで6ch 100Hz同時サンプリングも可能



Arduino Uno

```
const int accel_pin[] = { 0, 1, 2 };
```

```
int accel_val[] = { 0, 0, 0 };
```

```
void setup() {  
  Serial.begin( 9600 );  
}
```

```
void loop() {  
  byte buffer[2];
```

```
  // AD convert for 3-ch  
  for ( int i = 0; i < 3; i++ ) {  
    accel_val[i] = analogRead( accel_pin[i] ); // read pin[i]  
  }
```

```
  // Data transfer: if processing send one byte character * to Arduino  
  if ( Serial.available() > 0 ) {  
    for ( int i = 0; i < 3; i++ ) {  
      buffer[0] = byte( accel_val[i] );  
      buffer[1] = byte( accel_val[i] >> 8 );  
      Serial.write( buffer, 2 );  
    }  
    Serial.read(); // take off * character  
  }  
}
```

"Arduino IDE" for
signal processing

“Processing”言語: 1ch用AD変換 & 波形表示 & データ保存

```
seism_demo.pde (~/Desktop/seism_demo) - pluma
ファイル(F) 編集(E) 表示(V) 検索(S) ツール(T) ドキュメント(D) ヘルプ(H)
開く 保存 元に戻す 印刷 拡大 縮小 検索
seism_demo.pde
1 // Example 19-8: Reading from serial port orig. by Daniel Shiffman
2 // modified by Yoshio Okamoto 22th Nov.2013, 17th Mar.2014
3
4 import processing.serial.*;
5
6 Serial port; // The serial port object
7
8 PrintWriter output;
9
10 int i = 0;
11 int t = 0;
12 int tt = 0;
13 int ttt = 0;
14 int ch = 0;
15 float x[] = { 0,0,0 };
16 float y[] = { 0,0,0 };
17 int base[] = { -400, -400, -400 };
18 //int base[] = { 0, 0, 0 };
19 float px[] = { 0,0,0 };
20 float py[] = { 0,0,0 };
21 int data[] = { 0,0,0 };
22 int data_1[];
23 int data_2[];
24 int data_3[];
25 int s = 0;
26 int m = 0;
27 int ps = 0;
28 int tm = 0;
29 int tmax = 1000 * 60;
30 int sflg=0;
31
32 String datastr;
33 String datetimestr;
34 String format;
35
36 void setup() {
37   size(1000,720); // display size
38   strokeWeight( 1 ); // line width
39   background( 0 ); // clear display
40   port = new Serial(this, Serial.list()[0], 9600); // set up port for the first serial port
41   frameRate(100); // sampling rate/sec
42   // stroke(255);
43   smooth();
44 }
45
46 void draw() {
47
48 // initialize
49 if (sflg==0){
50   delay(1000);
51   port.write( '* ' );
52   background(0);
53   t=0;
54   tt=0;
55   sflg=1;
56   port.write( '* ' );
57 }
58
59 // file init.
60 if (t == 0){
61   datetimestr = year()+"/"+nf(month(),2)+"/"+nf(day(),2)+"/Time="+nf(hour(),2) + ":" + nf(minute(),2) + ":" +
62   nf(second(),2)+"_IFS"; // for linux
63   //datetimestr = year()+"/"+nf(month(),2)+"/"+nf(day(),2)+"/Time="+nf(hour(),2) + "_" + nf(minute(),2) + "_" +
64   nf(second(),2)+"_IFS"; // for Windows
65   output = createWriter(datetimestr+".dat");
66   text( datetimestr,10,35);
67   port.write( '* ' );
68 }
69
70 // time mark
71 s = second();
72 if (s == ps)
73   tm = 0;
74 else if (s % 10 == 0)
75   tm = 8;
76 else
77   tm = 5;
78 ps = s;
79
80 // 3ch signal display (1ch only)
81
82 // display ch
83 ch=0;
84 stroke (50, 190, 255); // for 1ch with light blue color
85
86 x[ch] = tt;
87 y[ch] = data[ch] + base[ch] + ttt*10 - tm;
88
89 // display signal
90 if ((t==0) || (tt == 0))
91   point (x[ch], y[ch]);
92 else
93   line (px[ch], py[ch], x[ch], y[ch]);
94
95 px[ch] = x[ch];
96 py[ch] = y[ch];
97
98 // data to text file
99 format = String.format("%04d %04d %04d", data[0],data[1],data[2]);
100 output.println(format);
101
102 tt = t % (width);
103 ttt = int (t/width);
104 t = t+1;
105
106 if (t>tmax){
107   t = 0;
108   tt = 0;
109 }
110
111 // save window
112 save( datetimestr+".png" );
113
114 output.flush(); // write buffer to file
115 output.close(); // close file
116
117 background(0);
118
119 // key events
120 void keyPressed() {
121   if ( key == 's' ) {
122     port.write( '* ' );
123     background(0);
124     t=0;
125     tt=0;
126     text( year()+"/"+nf(month(),2)+"/"+nf(day(),2)+"/Time="+nf(hour(),2)+":"+nf(minute(),2)+":"+nf(second(),2),10,35);
127   }
128   if ( key == 'v' ) {
129     save( year()+"/"+nf(month(),2)+"/"+nf(day(),2)+"/Time="+nf(hour(),2)+":"+nf(minute(),2)+":"+nf(second(),2)
130     +"/FS"+".png" ); // for linux
131     //save( year()+"/"+nf(month(),2)+"/"+nf(day(),2)+"/Time="+nf(hour(),2)+"_"+nf(minute(),2)+"_"+nf(second(),2)
132     +"/FS"+".png" ); // for Windows
133   }
134   if ( key == 'c' ) {
135     ch = ch + 1;
136     if (ch > 2)
137       ch=0;
138   }
139 }
140
141 // for 3ch input
142 void serialEvent( Serial p ) {
143   if ( port.available() > 1 ) {
144     for ( i = 0; i < 1; i++ ) {
145       data[i] = port.read() + port.read() * 256 ;
146     }
147     port.write( '* ' );
148   }
149 }
150
151 }
```

```
*編集中のドキュメント 1 - pluma
ファイル(F) 編集(E) 表示(V) 検索(S) ツール(T) ドキュメント(D) ヘルプ(H)
開く 保存 元に戻す 印刷 拡大 縮小 検索
*編集中のドキュメント 1
77
78 // 3ch signal display (1ch only)
79
80 // display ch
81 ch=0;
82 stroke (50, 190, 255); // for 1ch with light blue color
83
84 x[ch] = tt;
85 y[ch] = data[ch] + base[ch] + ttt*10 - tm;
86
87 // display signal
88 if ((t==0) || (tt == 0))
89   point (x[ch], y[ch]);
90 else
91   line (px[ch], py[ch], x[ch], y[ch]);
92
93 px[ch] = x[ch];
94 py[ch] = y[ch];
95
96 // data to text file
97 format = String.format("%04d %04d %04d", data[0],data[1],data[2]);
98 output.println(format);
99
100 tt = t % (width);
101 ttt = int (t/width);
102 t = t+1;
103
104 if (t>tmax){
105   t = 0;
106   tt = 0;
107 }
108
109 // save window
110 save( datetimestr+".png" );
111
112 output.flush(); // write buffer to file
113 output.close(); // close file
114
115 background(0);
116
117 // key events
118 void keyPressed() {
119   if ( key == 's' ) {
120     port.write( '* ' );
121     background(0);
122     t=0;
123     tt=0;
124     text( year()+"/"+nf(month(),2)+"/"+nf(day(),2)+"/Time="+nf(hour(),2)+":"+nf(minute(),2)+":"+nf(second(),2),10,35);
125   }
126   if ( key == 'v' ) {
127     save( year()+"/"+nf(month(),2)+"/"+nf(day(),2)+"/Time="+nf(hour(),2)+":"+nf(minute(),2)+":"+nf(second(),2)
128     +"/FS"+".png" ); // for linux
129     //save( year()+"/"+nf(month(),2)+"/"+nf(day(),2)+"/Time="+nf(hour(),2)+"_"+nf(minute(),2)+"_"+nf(second(),2)
130     +"/FS"+".png" ); // for Windows
131   }
132   if ( key == 'c' ) {
133     ch = ch + 1;
134     if (ch > 2)
135       ch=0;
136   }
137 }
138
139 // for 3ch input
140 void serialEvent( Serial p ) {
141   if ( port.available() > 1 ) {
142     for ( i = 0; i < 1; i++ ) {
143       data[i] = port.read() + port.read() * 256 ;
144     }
145     port.write( '* ' );
146   }
147 }
148
149 }
```

自宅觀測地



柏原市 072-976-3211

子短期
大寺附属幼稚園

大阪教育
大駅前

西名阪自動車道

大阪教育
大駅前中

柏原I.C前

西名阪自動車道

近鉄大阪線

大阪教育大東

近鉄大阪線

4丁目

大阪教育大学
附属図書館

大阪教育大学
教員養成・学生支援

Osaka Kyoiku University

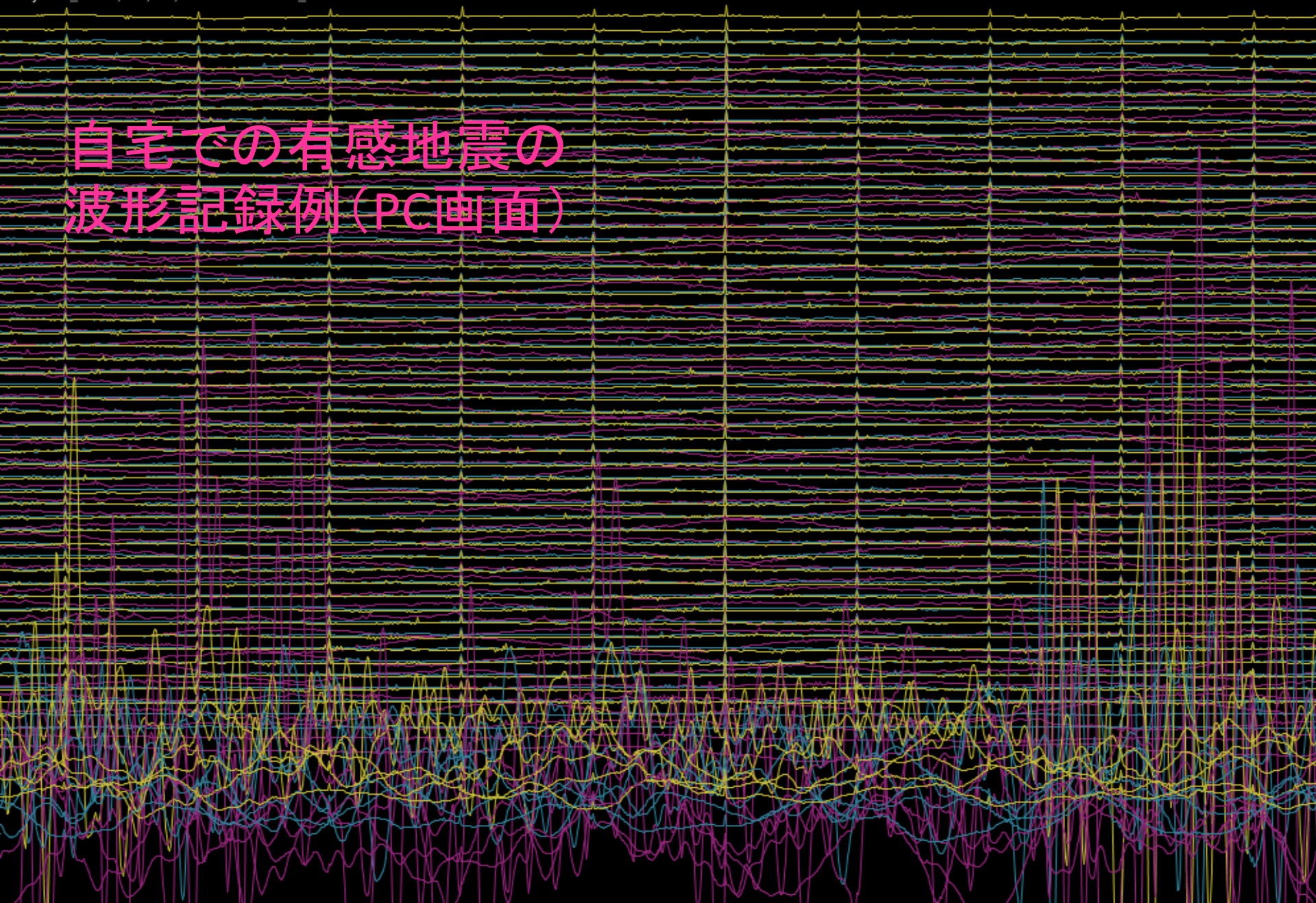
クレーブビル
スポーツ公園

はびきの中央公園

大学研究室内
(校舎3F)の観測風景



自宅での有感地震の 波形記録例(PC画面)



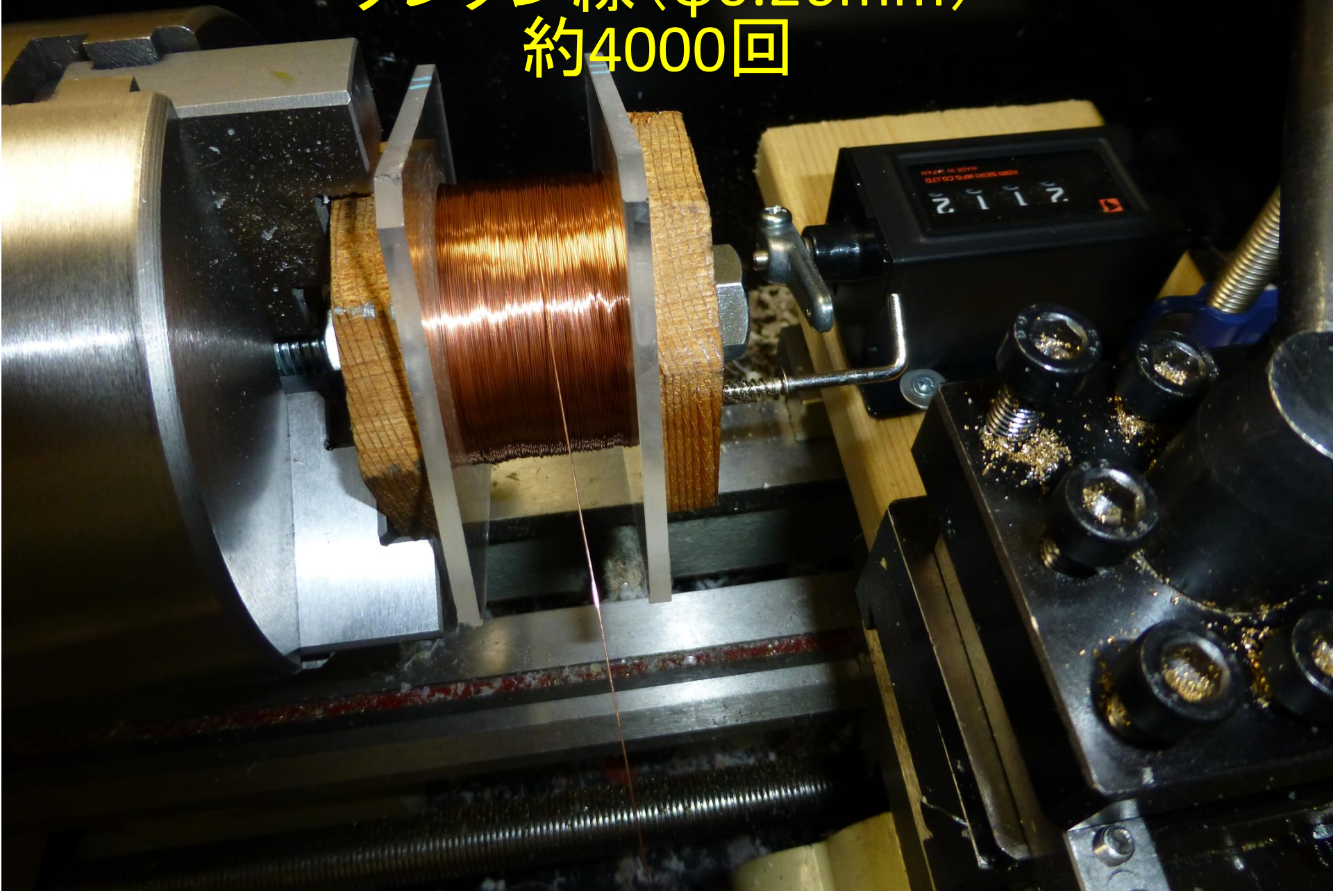
記録波形

簡易型センサとの比較

卓上旋盤でコイルを巻く



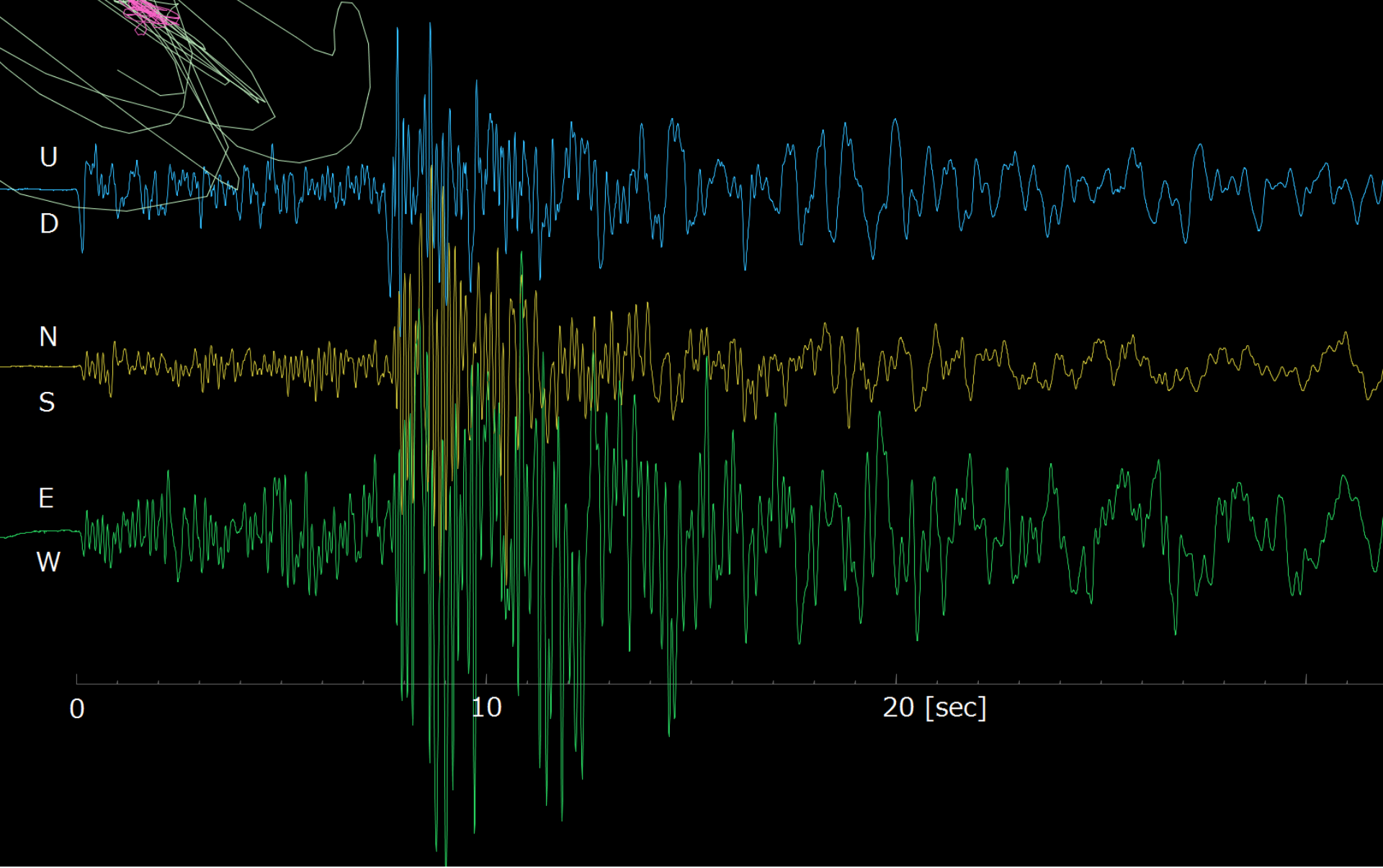
ウレタン線 (φ0.26mm)
約4000回



Seismogram examples:

/home/seagull/Desktop/Sayama_select/8/26/Time=03_33_24_IFS

Awajishima reg. Mj 4.1 d=11km $\Delta=63$ km recorded at my house



検知範囲

国内の M5.0以上

外国のM7.0以上

アンプを長周期化してからは、特に外国の地震の表面波をきれいに書くようになった。

まとめ

- 簡易型地震計(岡本, 2015)の記録の比較用に, やや本格的な地震計を製作した.
- 教材用として充分は感度と機能がある.
- しかし教材用として簡単に製作でき, かつ有用な波形が採れる地震計としては, 上記安価で製作が簡単な簡易型で充分という結論に達した.
- しかし, 製作経験の蓄積とより高感度の地震計を製作するためには, 意味のある試行であった.

<文献と謝辞>

大阪府教育センターの脇島修氏には、磁気回路の設計や磁気の測定に関して、貴重なご教示をいただいた。宇都宮大学教授伊東明彦氏には、簡易型の地震計で観測を行っていただいたほか、貴重なアドバイスをいただいた。感謝申し上げます。

岡本義雄(1990): 高感度地震計システムの製作と活用, 東レ理科教育賞授賞作品集**21**, 54-57

岡本義雄(1997): 教室でできる地学実験「フィルムケース地震計を作ろう」, 日本地震学会広報紙「なみふる創刊号」, 4-5

Yoshio OKAMOTO(2000): A Handmade Seismograph System and its Seismograms, Abstract for GeoSciEdu3 in Sydney (Australia)

Yoshio OKAMOTO(2014): A new horizontal seismograph system for school use, Abstract for GeoSciEdu7 in Hyderabad (India)

岡本義雄(2015): 教室でできる地学実験「ANB地震計を作ろう」, 日本地震学会広報紙「なみふる102号」, 4-5

※本開発に科研費基盤(C)No. 25350200を使用しました。