

# 傾斜計のキャリブレーションについて

○松本英敏<sup>A)</sup>, 大嶋康敬<sup>B)</sup>, 佐藤宇紘<sup>C)</sup>

<sup>A)</sup>技術部, <sup>B)</sup>計測・制御 WG, <sup>C)</sup>機器分析・化学 WG

## 1 はじめに

修士の学生から、補強土壁の模型実験で使用する傾斜計のキャリブレーションについて相談があった。この傾斜計の設計及び製作は大嶋技術専門職員が行った。データは、傾斜計からワイヤレスで受信機に飛ばし、microSD に書き出すものである。

データは温度や湿度および軸方向の加速度を計測でき、傾斜計が傾くことで、3軸方向の重力加速度の変化を測る。

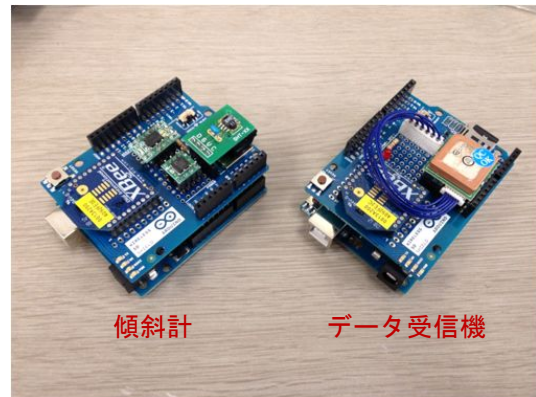


図1 傾斜計とデータ受信機

## 2 傾斜計の構成

パーツに関する詳細は判らないが、表1にあるように、

1機が約2万円弱の価格でセンサーを製作した。このような専門技術の連携により、安価で高性能なセンサーを製作いただき大変感謝している。

表1 傾斜計の部品

親機(データ保存側)				
品名	単価	個数	購入先	URL
Arduino UNOR3	2,600	1	Strawberry Linux	<a href="http://strawberry-linux.com/catalog/items?code=35018">http://strawberry-linux.com/catalog/items?code=35018</a>
ワイヤレスSDシールド	2,400	1	Strawberry Linux	<a href="http://strawberry-linux.com/catalog/items?code=35019">http://strawberry-linux.com/catalog/items?code=35019</a>
XBee ZB 2mW PCBアンテナ[シリーズ2]	1,660	1	Strawberry Linux	<a href="http://strawberry-linux.com/catalog/items?code=18245">http://strawberry-linux.com/catalog/items?code=18245</a>
RS232Cレベルコンバータ内蔵GPSモジュール GT-723F	2,800	1	秋月電子通商	<a href="http://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-04554/">http://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-04554/</a>
2.1mm標準DCプラグ MP-121M	30	1	秋月電子通商	<a href="http://akizukidenshi.com/catalog/g/gC-00091/">http://akizukidenshi.com/catalog/g/gC-00091/</a>
合計	9,490			
子機(センサー側)				
品名	単価	個数	購入先	URL
Arduino UNOR3	2,600	1	Strawberry Linux	<a href="http://strawberry-linux.com/catalog/items?code=35018">http://strawberry-linux.com/catalog/items?code=35018</a>
ワイヤレスSDシールド	2,400	1	Strawberry Linux	<a href="http://strawberry-linux.com/catalog/items?code=35019">http://strawberry-linux.com/catalog/items?code=35019</a>
XBee ZB 2mW PCBアンテナ[シリーズ2]	1,660	1	Strawberry Linux	<a href="http://strawberry-linux.com/catalog/items?code=18245">http://strawberry-linux.com/catalog/items?code=18245</a>
Sensirion 1チップ温度・湿度センサ(SHT-11)	2,095	1	Strawberry Linux	<a href="http://strawberry-linux.com/catalog/items?code=80001">http://strawberry-linux.com/catalog/items?code=80001</a>
3軸加速度センサモジュール KXR94-2050	850	1	秋月電子通商	<a href="http://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-05153/">http://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-05153/</a>
リアルタイムクロック(RTC)モジュール	500	1	秋月電子通商	<a href="http://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-00233/">http://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-00233/</a>
丸ピンC/ソケット(8P)	15	2	秋月電子通商	<a href="http://akizukidenshi.com/catalog/g/gP-00035/">http://akizukidenshi.com/catalog/g/gP-00035/</a>
片面ガラス・ユニバーサル基板 Cタイプ(72x47.5mm) めっき仕上げ	60	1	秋月電子通商	<a href="http://akizukidenshi.com/catalog/g/gP-00517/">http://akizukidenshi.com/catalog/g/gP-00517/</a>
2.1mm標準DCプラグ MP-121M	30	1	秋月電子通商	<a href="http://akizukidenshi.com/catalog/g/gC-00091/">http://akizukidenshi.com/catalog/g/gC-00091/</a>
合計	10,210			

### 2.1 傾斜計キャリブレーションの概略

図2に中央工場から借りてきた台座と傾斜計を載せて測定している概略を示す。この台座には角度の目盛が付いており、任意に角度を設定できる。実験の計測は、角度を5°刻みで行った。

### 2.2 計測結果

表2にキャリブレーション結果の一例を示す。表中の傾斜は、台座の設定角度を表わしており、測定値では無い。温度、湿度及び加速度のそれぞれの値が測定値である。表3は、左半分が設定値であり、右半分が

計測データを計算した結果である。

x 軸の場合

$$\theta = \sin^{-1} \left\{ \frac{2(x - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})} - 1 \right\} \quad (1)$$

で傾斜角が計算できる。

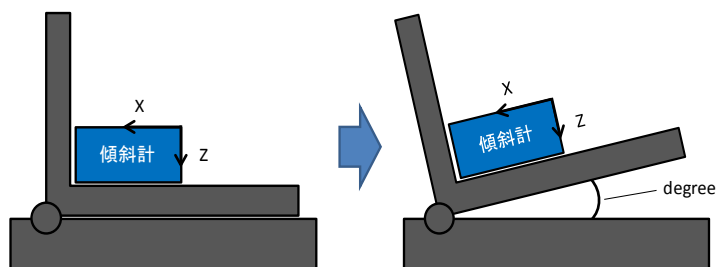


図2 傾斜計のキャリブレーション概略

### 3 計測結果

計算結果が設定角度と余りにもズレており、X軸、Y軸、Z軸の最大（1G）及び最小値（-1G）加速度が本当に正しいかどうか疑問が生じた。そこで非線形最小自乗法による推定を試みた。収束計算の結果、最大・最小値にほぼ問題が無いことが判明した。表4

表2 傾斜計キャリブレーション時の出力データ

日時	識別番号	温度	湿度	加速度			傾斜
				X軸	Y軸	Z軸	
2014/7/3 10:01	1	29.4	58.8	498	498	720	0
2014/7/3 10:06	1	29.4	58.1	498	498	720	0
2014/7/3 10:11	1	29.4	57.8	498	499	720	0
2014/7/3 10:16	1	29.6	57.1	477	499	718	5
2014/7/3 10:21	1	28.6	61	439	499	711	10
2014/7/3 10:26	1	28.9	61.1	418	498	705	15
2014/7/3 10:31	1	27.5	64.6	420	498	706	20
2014/7/3 10:36	1	28.2	63.3	403	499	699	25
2014/7/3 10:41	1	27.9	64.1	385	500	691	30
2014/7/3 10:46	1	28.2	62.7	368	499	680	35
2014/7/3 10:51	1	27.5	65.6	352	499	669	40
2014/7/3 10:56	1	27.6	65	337	500	657	45

に設定傾斜とその誤差を示す。角度の設定が目盛であることを考慮すれば、初期設定以外は概ね1°以下の誤差であり、傾斜計としての有効性は確認できた。

また、設定ミスの可能性も否めない。

表3 傾斜計の設定及び計測データ

X軸	Y軸	Z軸	X軸	Y軸	Z軸
0	0	90	-1.4	-0.7	90.0
0	0	90	-1.4	-0.7	90.0
0	0	90	-1.4	-0.5	90.0
-5	0	85	-6.6	-0.5	82.0
-10	0	80	-16.2	-0.5	72.9
15	0	75	-21.8	-0.7	67.8
-20	0	70	-21.2	-0.7	68.6
-25	0	65	-25.8	-0.5	63.7
-30	0	60	-30.9	-0.2	59.0
-35	0	55	-36.0	-0.5	53.4
-40	0	50	-41.1	-0.5	48.5
-45	0	45	-46.2	-0.2	43.6

表4 測定誤差

設定傾斜	90-Z軸+X軸
0	-1.4
0	-1.4
0	-1.4
5	1.4
10	0.9
15	0.4
20	0.2
25	0.4
30	0.1
35	0.6
40	0.4
45	0.1

### 4 おわりに

今回は私自身何もしてないし、最終的には実験では使用しなかったが、折角製作していただいたので、何らかの形で記録として残したかった。

データを提供していただいた修士2年新谷君に、心より感謝する次第である。

### 参考文献

[1] <http://www.geocities.jp/zattouka/GarageHouse/micon/Arduino/Acceleration/Acceleration.htm>