

はじめに

本アプリケーションノートでは、ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー (HAAM-326B) の個体差を補正する方法をユーザーに理解していただく事を目的としています。

本アプリケーションノートでは、ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー (HAAM-326B) からアナログで出力される加速度をデジタル値に変換した値を使用して説明しています。

参考資料： HAAM-326B カタログ <http://www.hdk.co.jp/pdf/jpn/j137507.pdf>

- 3軸加速度センサーアプリケーションノート(傾斜検出編)
- 3軸加速度センサーアプリケーションノート(歩数検出編)
- 3軸加速度センサーアプリケーションノート(投げ上げ、自由落下検出編)

1 構成

本アプリケーションノートでは、HAAM-326B と接続する CPU に例として 78K0/KB2 (uPD78F0500) で説明します。

電気特性については HAAM-325B カタログを参考にして下さい。

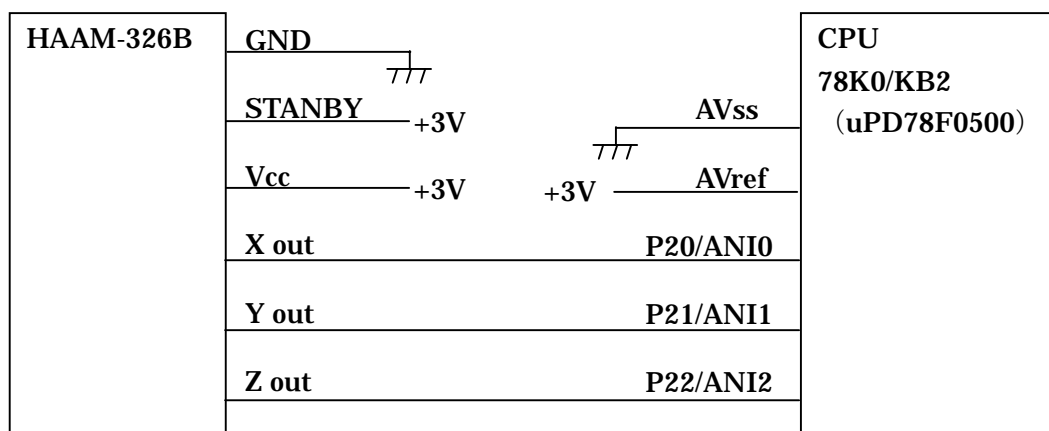


図 1 HAAM-326B と CPU の接続

ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

センサー個体差の補正編

2007年2月 第1版

■ 入力電圧と変換結果について

アナログ入力端子 (ANI0- ANI2) に入力されたアナログ入力電圧と論理上の A/D 変換結果 (10 ビット A/D 変換結果レジスタ) には下図に示す関係があります。

本アプリケーションノートで使用する 78K0/KB2 の場合は下図のようになります。

| G | Sensor (V) | CPU (Register Digital Value) | Correction 0 = 0G (Digital Value) |
|-----|------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 2G | 2.3V | 774 | 274 |
| 1G | 1.9V | 637 | 137 |
| 0G | 1.5V | 500 | 0 |
| -1G | 1.1V | 363 | -137 |
| -2G | 0.7V | 226 | -274 |

図 2 入力電圧と変換結果

■ 変換結果で採用する値について

本アプリケーションノートでは、0G の時のデジタル値は 0 で考えています。

A/D 変換結果にオフセットを加算した図 2 入力電圧と変換結果の **Correction0=0G (Digital value)** の値を以後の説明では使用します。

■ サンプリングレートについて

本アプリケーションノートでは、4ms 毎に XYZ のサンプリングを行なっています。

2 補正の必要性

「図 2 入力電圧と変換結果」にも記述されている通り、アプリケーションは 0G = 0、1G = 137、-1G = -137 を基準として作成を行ないます。

センサーに誤差があると、アプリケーションもその分誤差が生じます。

それを回避するには、アプリケーションにてセンサーの誤差の修正を行い、0G = 0、1G = 137、-1G = -137 に近づけることで誤動作を無くす必要があります。

ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

センサー個体差の補正編

2007年2月 第1版

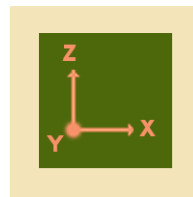
3 補正方法

補正方法を以下に示します。

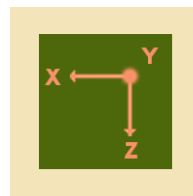
まず初期起動時に①～⑥でセンサー個体差を求めます。

常時⑦の方法にてXYZ軸のセンサー個体差を補正します。

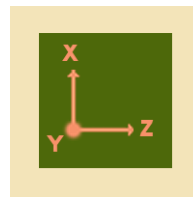
- ① Z軸のプラス方向を上に向けてX Y軸が水平になるように置きます。(右図)
 0 - X軸のデジタル値 = **XOffset1** とします。
 0 - Y軸のデジタル値 = **YOffset1** とします。
 Z軸のデジタル値の絶対値 = **ZFullScale1** とします。



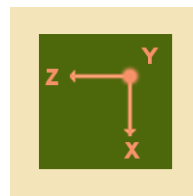
- ② Z軸のプラス方向を下に向けてX Y軸が水平になるように置きます。(右図)
 0 - X軸のデジタル値 = **XOffset2** とします。
 0 - Y軸のデジタル値 = **YOffset2** とします。
 Z軸のデジタル値の絶対値 = **ZFullScale2** とします。



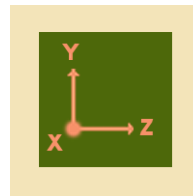
- ③ X軸のプラス方向を上に向けてY Z軸が水平になるように置きます。(右図)
 0 - Z軸のデジタル値 = **ZOffset1** とします。
 X軸のデジタル値の絶対値 = **XFullScale1** とします。



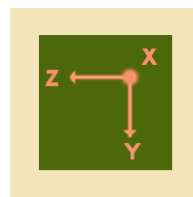
- ④ X軸のプラス方向を下に向けてY Z軸が水平になるように置きます。(右図)
 0 - Z軸のデジタル値 = **ZOffset2** とします。
 X軸のデジタル値の絶対値 = **XFullScale2** とします。



- ⑤ Y軸のプラス方向を上に向けてX Z軸が水平になるように置きます。(右図)
 Y軸のデジタル値の絶対値 = **YFullScale1** とします。



- ⑥ Y軸のプラス方向を下に向けてX Z軸が水平になるように置きます。(右図)
 Y軸のデジタル値の絶対値 = **YFullScale2** とします。



ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

センサー個体差の補正編

2007年2月 第1版

- ⑦ 次の計算にて、XYZ軸のセンサー個体差を補正します。

$$\text{XoffSet} = (\text{XoffSet1} + \text{XoffSet2}) / 2$$

$$\text{YoffSet} = (\text{YoffSet1} + \text{YoffSet2}) / 2$$

$$\text{ZoffSet} = (\text{ZoffSet1} + \text{ZoffSet2}) / 2$$

$$a = (\text{XFullScale1} + \text{XFullScale2}) / 2$$

$$b = (\text{YFullScale1} + \text{YFullScale2}) / 2$$

$$c = (\text{ZFullScale1} + \text{ZFullScale2}) / 2$$

$$\text{XFullScale} = 137^2 / a$$

$$\text{YFullScale} = 137^2 / b$$

$$\text{ZFullScale} = 137^2 / c$$

補正済Xデジタル値 =

$$\text{X軸デジタル値} * \text{XFullScale} / 137(1G \text{の Scale}) + \text{XoffSet}$$

補正済Yデジタル値 =

$$\text{Y軸デジタル値} * \text{YFullScale} / 137(1G \text{の Scale}) + \text{YoffSet}$$

補正済Zデジタル値 =

$$\text{Z軸デジタル値} * \text{ZFullScale} / 137(1G \text{の Scale}) + \text{ZoffSet}$$

(注) 1Gのときの理想値 137 とします。

ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

センサー個体差の補正編

2007年2月 第1版

初期起動時に①～⑥の各デジタル値が以下の場合のオフセットの例を下図に記述します。

- ①のとき、X=-4、Y=0、Z=-140
- ②のとき、X=3、Y=-10、Z=150
- ③のとき、X=-135、Y=-2、Z=-1
- ④のとき、X=143、Y=-2、Z=-1
- ⑤のとき、X=-3、Y=-142、Z=-3
- ⑥のとき、X=-15、Y=150、Z=-10

| No. | デジタル値 | XOffSet1 | XFullScale1 | YOffSet1 | YFullScale1 | ZOffSet1 | Z FullScale1 |
|-----|-------------------------|------------------|----------------------|------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| | | XOffSet2 | XFullScale2 | YOffSet2 | Y FullScale2 | ZOffSet2 | Z FullScale2 |
| ① | X=-4 Y=0 z=-140 | XOffSet1 =4 | | YOffSet1 = 0 | | | Z FullScale1 = 140 |
| ② | X=3 Y=-10 z=150 | XOffSet2 = -3 | | YOffSet2 = 10 | | | Z FullScale2 = 150 |
| ③ | X=-135 Y=-2 z=-1 | | XFullScale1 = 135 | | | ZOffSet1 = 1 | |
| ④ | X=143 Y=-2 z=-2 | | XFullScale2 = 143 | | | ZOffSet2 = 2 | |
| ⑤ | X=-3 Y=-142 z=-3 | | | | Y FullScale1 = 142 | | |
| ⑥ | X=-15 Y=150 z=-10 | | | | Y FullScale2 = 150 | | |

図 3 各オフセット、フルスケールの表

ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

センサー個体差の補正編

2007年2月 第1版

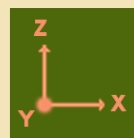
■補正の例

X軸で補正の例を説明します。

以下の1~4をすることによりセンサーに動作を加えていないときのX軸にかかるデジタル値(オフセット、フルスケール)を計測します。

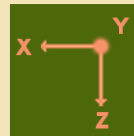
1. Z軸のプラス方向を上に向けてX Y軸が水平になるように置きます。(右図)

0 - X軸のデジタル値 = **XOffset1** とします。



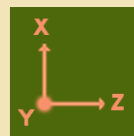
2. Z軸のプラス方向を下に向けてX Y軸が水平になるように置きます。(右図)

0 - X軸のデジタル値 = **XOffset2** とします。



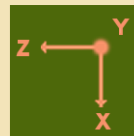
3. X軸のプラス方向を上に向けてY Z軸が水平になるように置きます。(右図)

X軸のデジタル値の絶対値 = **XFullScale1** とします。



4. X軸のプラス方向を下に向けてY Z軸が水平になるように置きます。(右図)

X軸のデジタル値の絶対値 = **XFullScale2** とします。



仮に1~4で求めた値が以下の通りだったとします。

1. **XOffset1** = 3
2. **XOffset2** = -4
3. **XFullScale1** = -135
4. **XFullScale2** = 143

ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

センサー個体差の補正編

2007年2月 第1版

XOffset1、**XOffset2** のようにX軸が水平方向に向くとき、X軸にかかる全体のデジタル値は7

XFullScale1、**XFullScale2** のようにX軸が垂直になるとき、X軸にかかる全体のデジタル値は278となります。

しかし、これらのことを「図4 補正前と補正後の加速度」に表すと補正前の状態となり、**X**軸には**0**を基準にしたときプラス方向とマイナス方向とでは均等な重力(加速度)がかかっていないことがわかります。

センサーを水平に置いたときの各軸にかかるデジタル値の理想値は、
重力**1G**がかかっている軸→デジタル値137 (-137)、
重力**0G**がかかっている軸→デジタル値0です。

「図4 補正前と補正後の加速度」に示す補正後のようにズレを補正し、また理想値(137、-137)に近づけるために補正を行うとセンサー毎の誤差が修正できるため、個体差があるセンサーを使用しても同じ様な動作が可能となります。

ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

センサー個体差の補正編

2007年2月 第1版

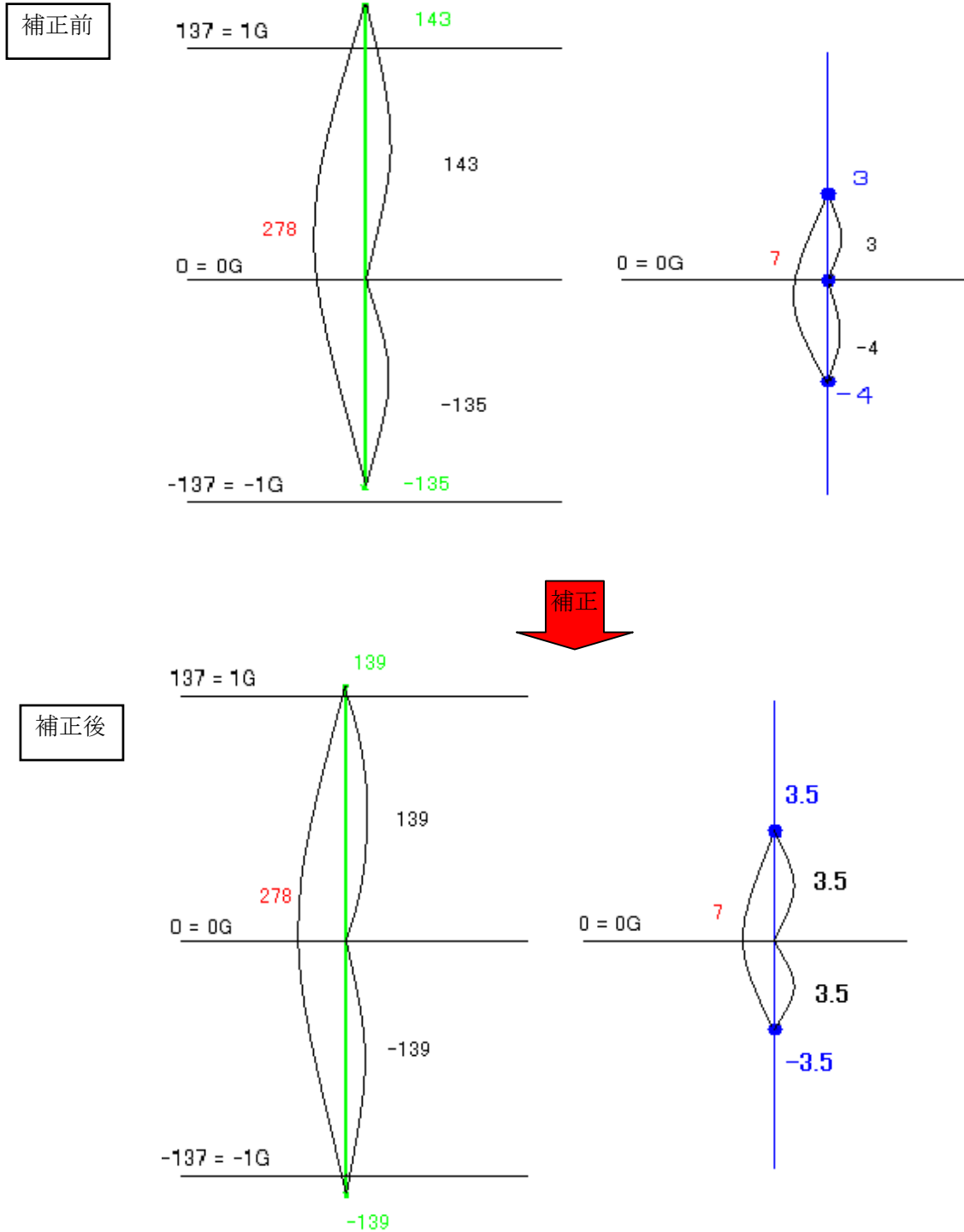


図 4 補正前と補正後の加速度

4 反応速度のについて

以下にセンサーの反応速度について記述します。

移動、振動、衝撃を判断するときにセンサーは、

1. 停止状態を検出 (アイドル)
2. 移動開始を検出
3. 移動開始後、移動か振動か衝撃の判断と処理
4. 移動が終了したと判断する (センサー停止状態)
5. 1に戻る (ループします)

上記1.~4.で1つの動作になりますので、移動や停止の検出に時間を掛けると反応速度が鈍くなります。また、検出の時間を早くすると反応速度が速くなります。

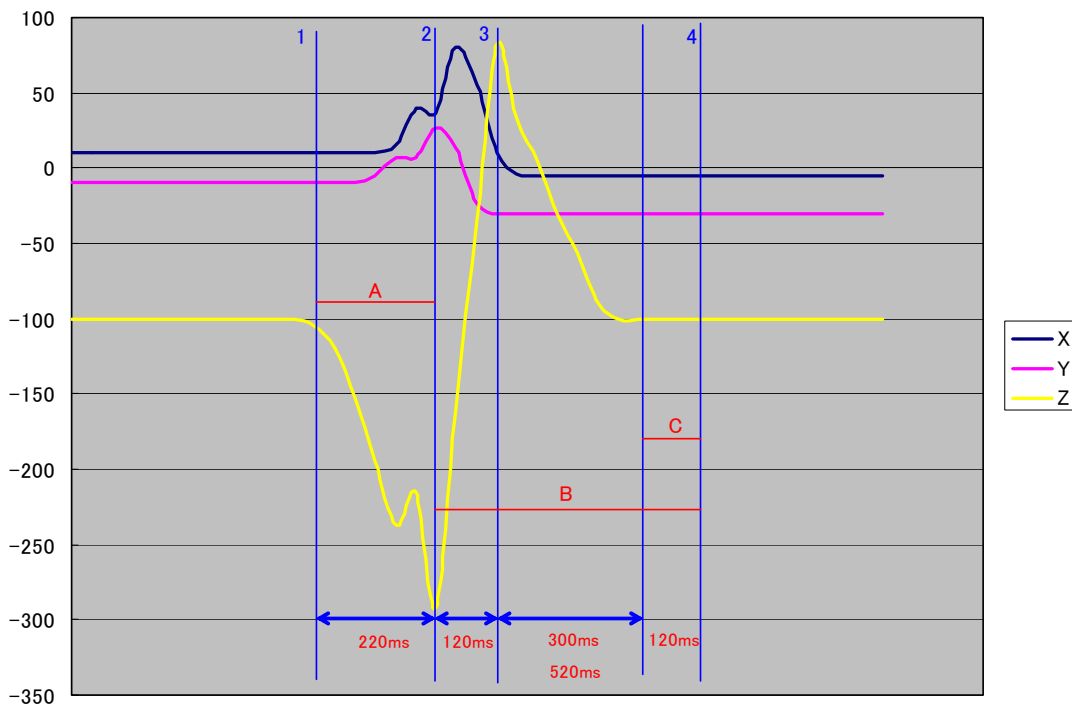
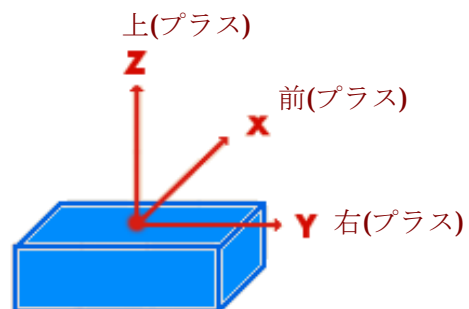


図 5 Z軸へ上 (プラス) 方向の移動



ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

センサー個体差の補正編

2007年2月 第1版

- **A** の区間は、センサーを移動させたときセンサーに移動が行われたことを判断している時間です。(本アプリケーションノートでは **220msec** です)
また、**A** の区間で波形がプラスかマイナス方向に増減したかを見ることにより、センサーがどの方向へ移動したかを判断しています。
(**Z** 軸の場合、この **A** 区間がマイナスの場合上方向、プラスの場合下方向へ移動したと判断します)
- **B** の区間は、最初の波形の最大値を検知後、センサーが停止したと判断するまでにかかるトータルの時間です。(本アプリケーションノートでは **520msec** です)
- **C** の区間は、波形の増減が収まった後カウントをとり続け、カウント中に波形が大きく増減することがなければセンサーは停止したと判断する区間です。
停止したと判断するまでは、センサーに加えた他の動作を受け付けません
- 反応速度について
 - ① 移動と判断している区間は移動開始と判断してから最大値検知までの **A** の区間ですが、仮に、最大値を見つけた後も移動が続いていると判断した場合、正しくない移動を判断してしまいます。

よって、センサーを一度動かしてから次のセンサーの動きを判断するためには、最大値を検知してから移動終了を判断するまでの **B** の区間が必要となり、**A** の区間が終わった後、**B** の区間では波形の増減を無視しなければなりません。

この時間はおおよそ **400msec**~**1** 秒くらいですが、センサーを動かした力が強ければ強いほど、波形が収まるまでの時間 (**C** の区間) が長くなります。

また、この **B** の区間中にセンサーに新たな動作を加えてしまうと、波形の増減が繰り返され移動終了を判断する時間が長くなります。

この **B** の区間の長さによって反応速度が決まります。