

## 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）を使用して傾斜を検出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(センサー個体差の補正編)

傾斜検出とは、3軸加速度センサーを360度回した時の傾斜を検出する事を示します。傾斜の検出を使用して、下図のように3軸加速度センサーの傾斜を模倣したアプリケーションの作成が可能になります。

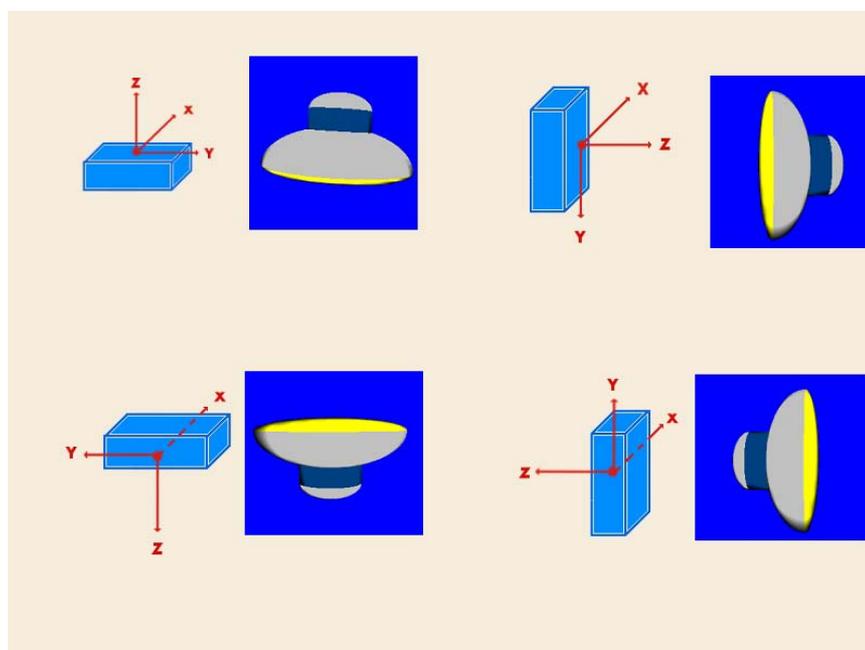


図 1 傾斜検出を利用したアプリケーションイメージ

# ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

## 傾斜検出編

2007年2月 第1版

### 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-326B カタログを参考にして下さい。

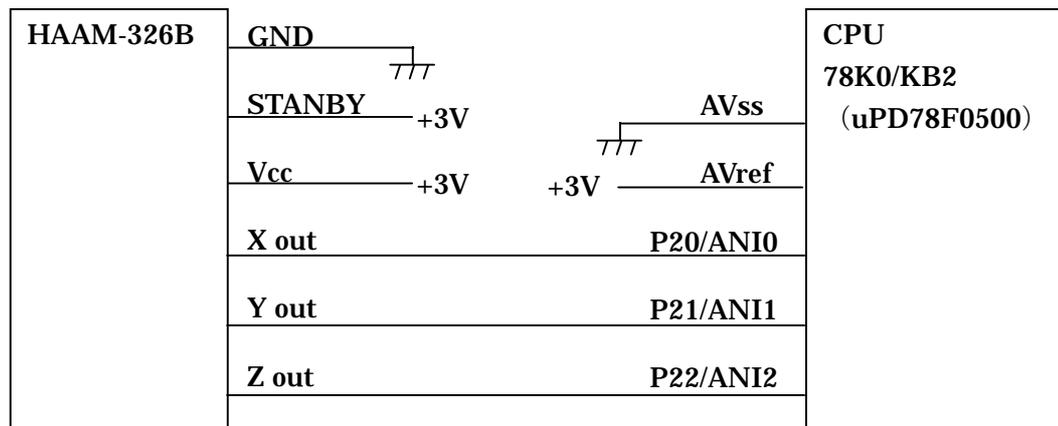


図 2 HAAM-326B と CPU の接続

## ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

### 傾斜検出編

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 3 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 3 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。

# ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

## 傾斜検出編

2007年2月 第1版

### 2 傾斜を検出するアルゴリズム

#### ■ X軸回転の傾斜検出

X軸の回転は、Xの数値とZの±を基に下記の表のように計算する。

角度	X	Z	計算式
0度	0	-137	$X \leq 0, Z \leq 0$ の場合 角度 = $\sin^{-1}(-X/137)$
30度	-69	-	
60度	-119	-	
90度	-137	±0	
90度	-137	±0	$X \leq 0, Z \geq 0$ の場合 角度 = $180 - \sin^{-1}(-X/137)$
120度	-119	+	
150度	-69	+	
180度	0	+137	
180度	0	+137	$X \geq 0, Z \geq 0$ の場合 角度 = $180 + \sin^{-1}(X/137)$
210度	69	+	
240度	119	+	
270度	137	±0	
270度	137	±0	$X \geq 0, Z \leq 0$ の場合 角度 = $360 - \sin^{-1}(X/137)$
300度	119	-	
330度	69	-	
360度	0	-137	

表 1 X軸の角度の計算表

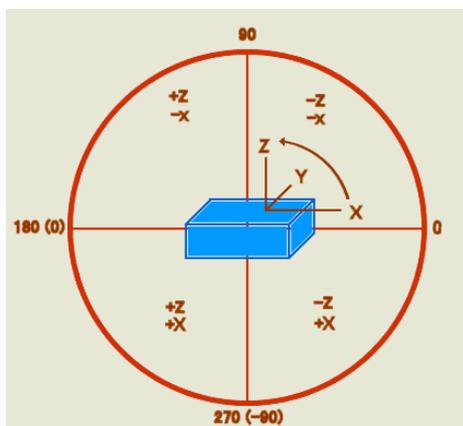


図 4 X軸が向いている角度のイメージ

# ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

## 傾斜検出編

2007年2月 第1版

### ■ Y軸回転の傾斜検出

Y軸の回転は、Yの数値とZの±を基に下記の表のように計算する。

角度	Y	Z	計算式
0度	0	-137	$Y \leq 0, Z \leq 0$ の場合  角度 = $\sin^{-1}(-Y/137)$
30度	-69	-	
60度	-119	-	
90度	-137	±0	
90度	-137	±0	$Y \leq 0, Z \geq 0$ の場合  角度 = $180 - \sin^{-1}(-Y/137)$
120度	-119	+	
150度	-69	+	
180度	0	+137	
180度	0	+137	$Y \geq 0, Z \geq 0$ の場合  角度 = $180 + \sin^{-1}(Y/137)$
210度	69	+	
240度	119	+	
270度	137	±0	
270度	137	±0	$Y \geq 0, Z \leq 0$ の場合  角度 = $360 - \sin^{-1}(Y/137)$
300度	119	-	
330度	69	-	
360度	0	-137	

表 2 Y軸の角度の計算表

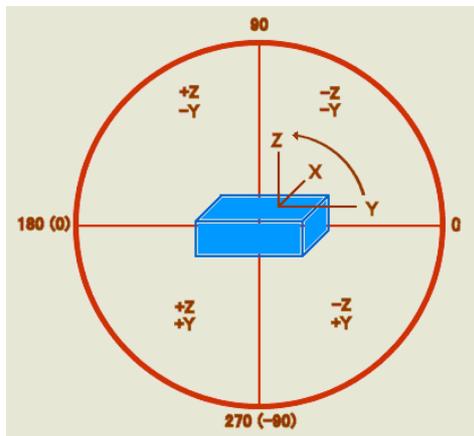


図 5 Y軸が向いている角度のイメージ

## ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

## 傾斜検出編

2007年2月 第1版

## ■ 3次元での傾斜検出

X軸の角度とY軸の角度を組み合わせることにより3次元上での位置も下図のように求められます。

X=150度でY=90度の時は、3次元上は下図の青い矢印の方に傾斜しています。

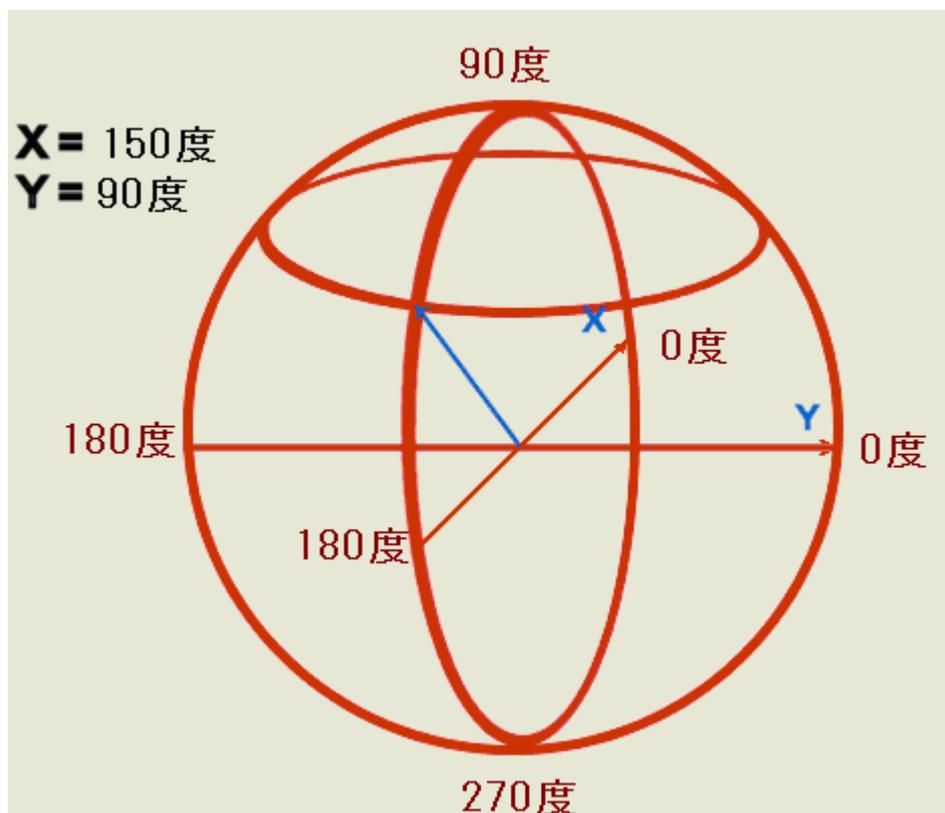


図 6 X=150度でY=90度の時

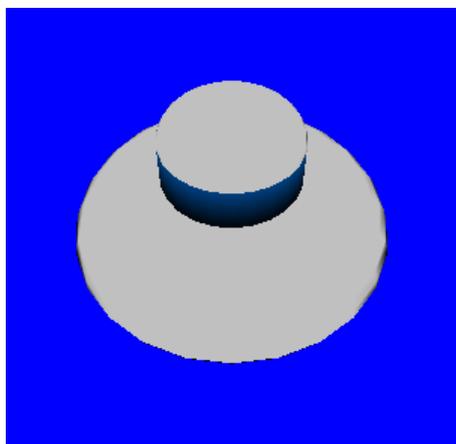


図 7 X=150度でY=90度の時のアプリケーションのイメージ

ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

傾斜検出編

2007年2月 第1版

X=150度でY=150度の時は、3次元上は下図の青い矢印の方に傾斜しています。

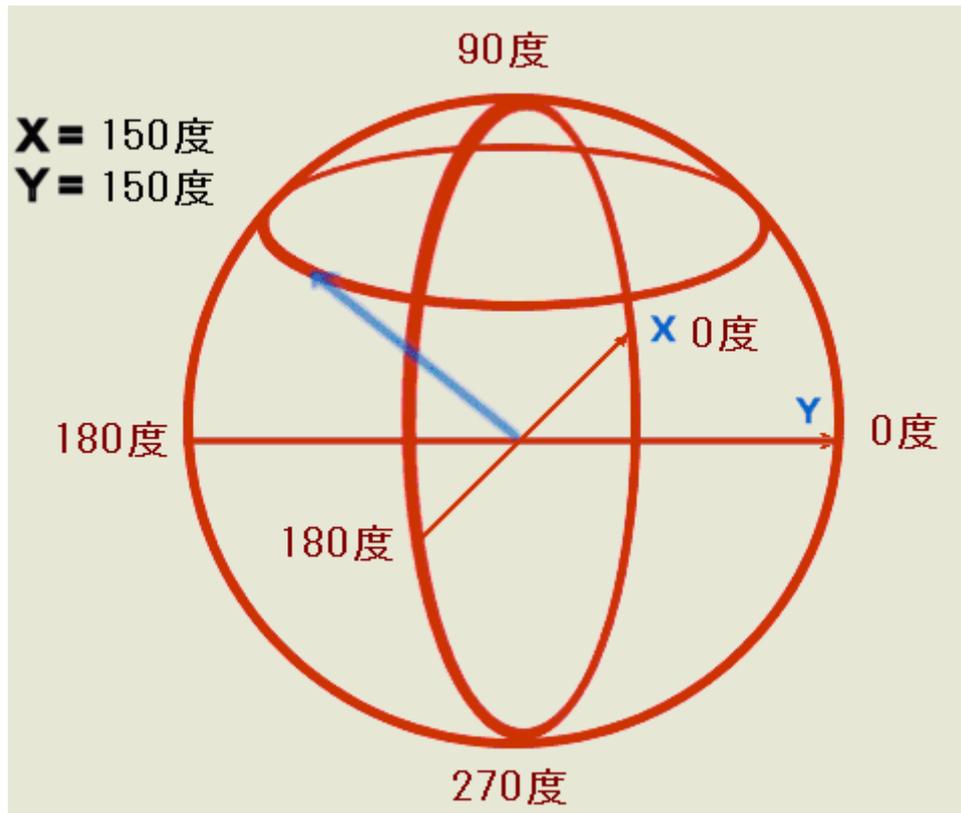


図 8 X=150度でY=150度の時

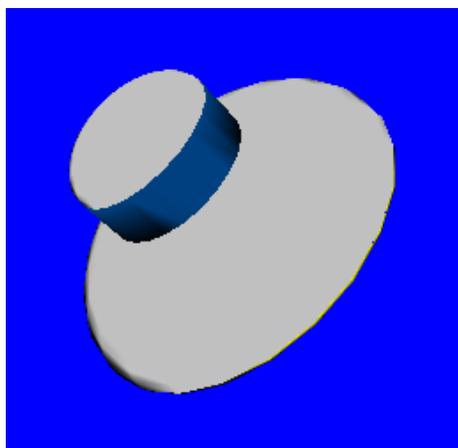


図 9 X=150度でY=150度の時のアプリケーションのイメージ

## ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

## 傾斜検出編

2007年2月 第1版

X=170度でY=150度の時は、3次元上は下図の青い矢印の方に傾斜しています。

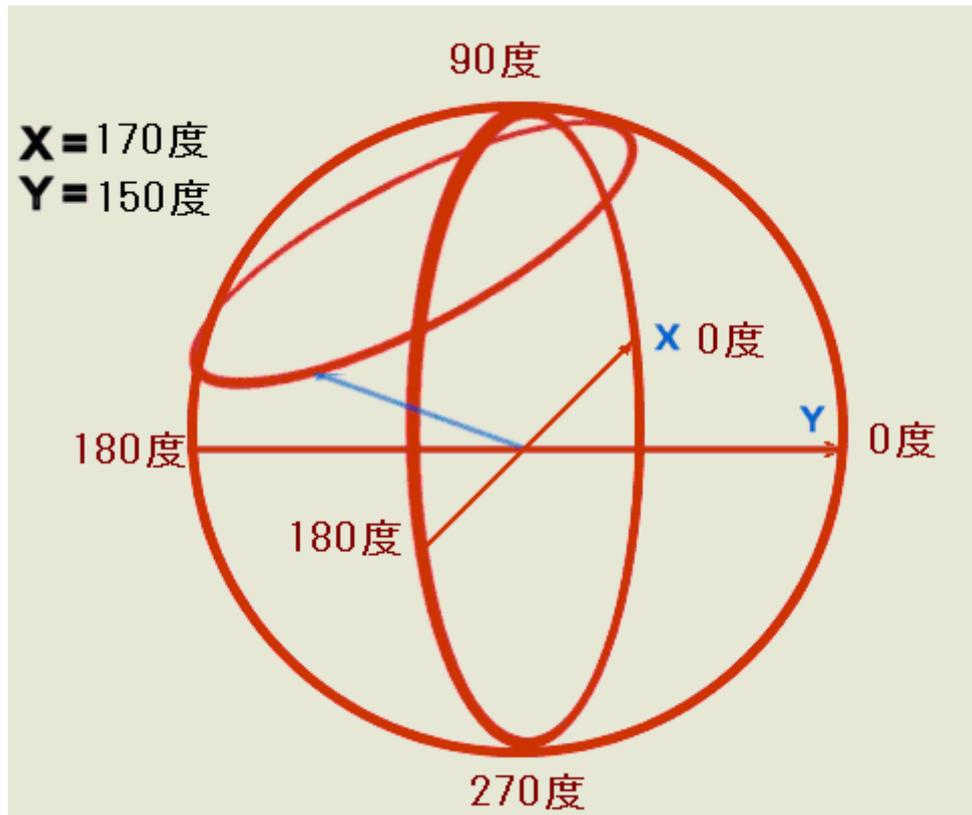


図 10 X=170度でY=150度の時

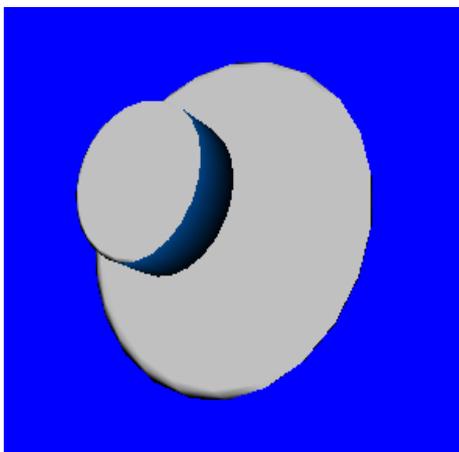


図 11 X=170度でY=150度の時のアプリケーションのイメージ

## ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

## 傾斜検出編

2007年2月 第1版

---

### 3 傾斜と移動の識別

傾斜と移動を混同して判断しないように、それぞれの動作を識別する必要があります。傾斜、停止、移動はそれぞれ以下の違いが出ます。

- 傾斜 (図 12 センサーを X 軸方向に一回転傾斜させたときのデータグラフ)

3 軸合成値 : 1G に近い値をとり続けます。

各軸 : それぞれ変化します。

- 停止 (図 13 センサー停止時のデータグラフ)

3 軸合成値 : 1G に近い値をとり続けます。

各軸 : 各軸に変化はありません。

- 移動 (図 14 センサーを移動させたときのデータグラフ)

3 軸合成値 : 1G 以上の値をとります。

各軸 : それぞれ変化します。

(注) 3 軸合成値→x,y,z 軸を合成したものです。センサーに激しい動作が加えられていないとき 3 軸の合計は 1G になります。

これらの違いによりセンサーに加えられた動作を識別します。

## ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

## 傾斜検出編

2007年2月 第1版

## ■ 傾斜の識別

3軸合成値が1Gに近い値(デジタル値で $137 \pm 25$ )を取り続けている間は、傾斜の検出を行ないません。

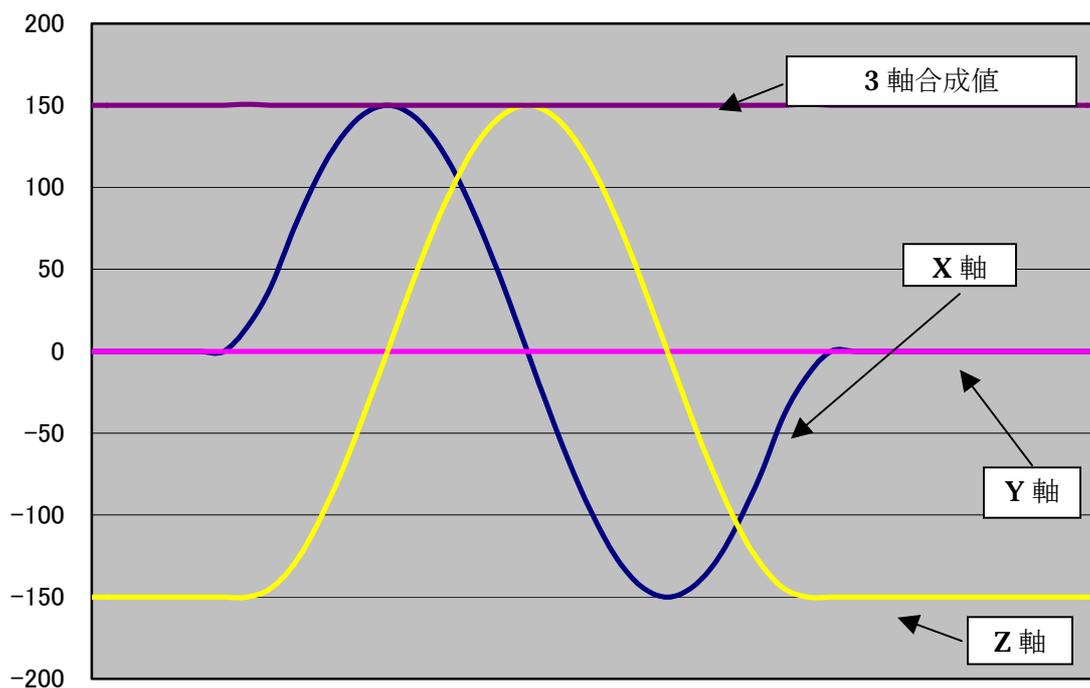


図 12 センサーを X 軸方向に一回転傾斜させたときのデータグラフ

## ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

## 傾斜検出編

2007年2月 第1版

## ■ 停止の識別

3軸合成値が1Gに近い値(デジタル値で $137 \pm 25$ )を取り続けている間は、傾斜の検出を行いません。

センサーの微妙な振動で、ゆらゆら傾かないように停止したらXYのいずれも $\pm 10$ を超えてから傾斜の識別を開始すると微妙な振動によるゆらぎを回避できます。

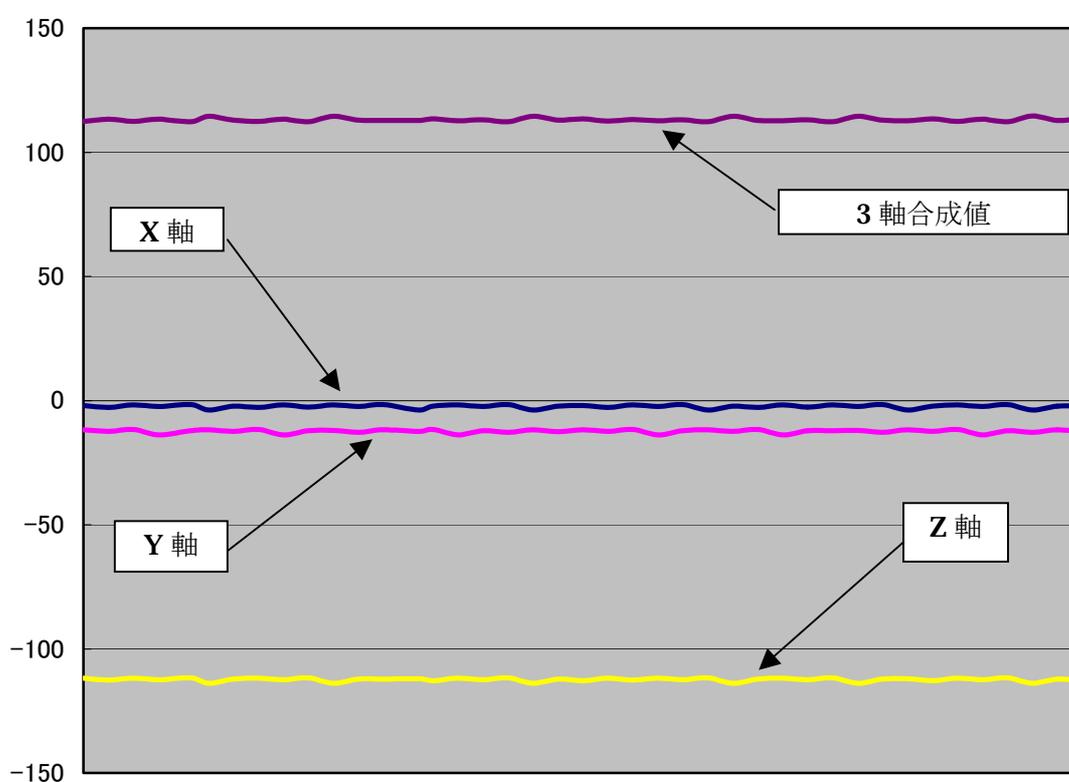


図 13 センサー停止時のデータグラフ

## ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

## 傾斜検出編

2007年2月 第1版

## ■ 移動の識別

センサーを前後左右斜め何れかに動かした場合は、初動のときに3軸合成値が1Gから外れる値になります。

3軸合成値が1Gから外れる間は、傾斜を正常に検出できないので傾斜の検出は行なえません。

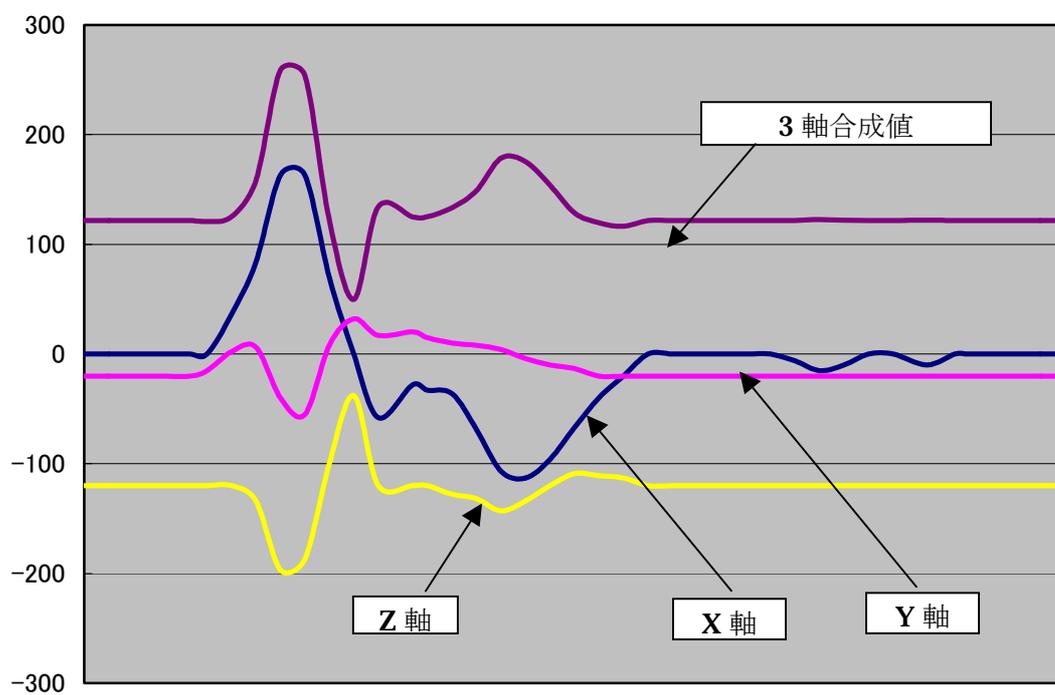


図 14 センサーを移動させたときのデータグラフ

## ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

## 傾斜検出編

2007年2月 第1版

## 4 角度の設定の問題点及び解決方法

## ■問題点

センサーを傾けたときのデジタル値は以下の通りです。

角度	デジタル値(XorY)
0度	0
30度	69
60度	119
90度	137
120度	119
150度	69
180度	0
210度	-69
240度	-119
270度	-137
300度	-119
330度	-69
360度	0

0度 ~ 90度を第一象限とします。

90度 ~ 180度を第二象限とします。

180度 ~ 270度第三象限とします。

270度 ~ 360度を第四象限とします。

センサーを第一象限の範囲で傾けたときデジタル値は0~137の値をとります。

しかし、第二象限の範囲でセンサーを傾けたときも、デジタル値は第一象限のときと同じ0~137の値をとってしまいます。

これはセンサーを90度以上傾けたとき、デジタル値は減少してしまうためセンサー自体は90度以上傾斜第二象限の範囲にいるにもかかわらず、デジタル値を見ただけでは第一象限判断と第二象限のどちらの範囲で傾いているのか判断が付けられませんが、(第三象限と第四象限でも同様のことが考えられます。)

# ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

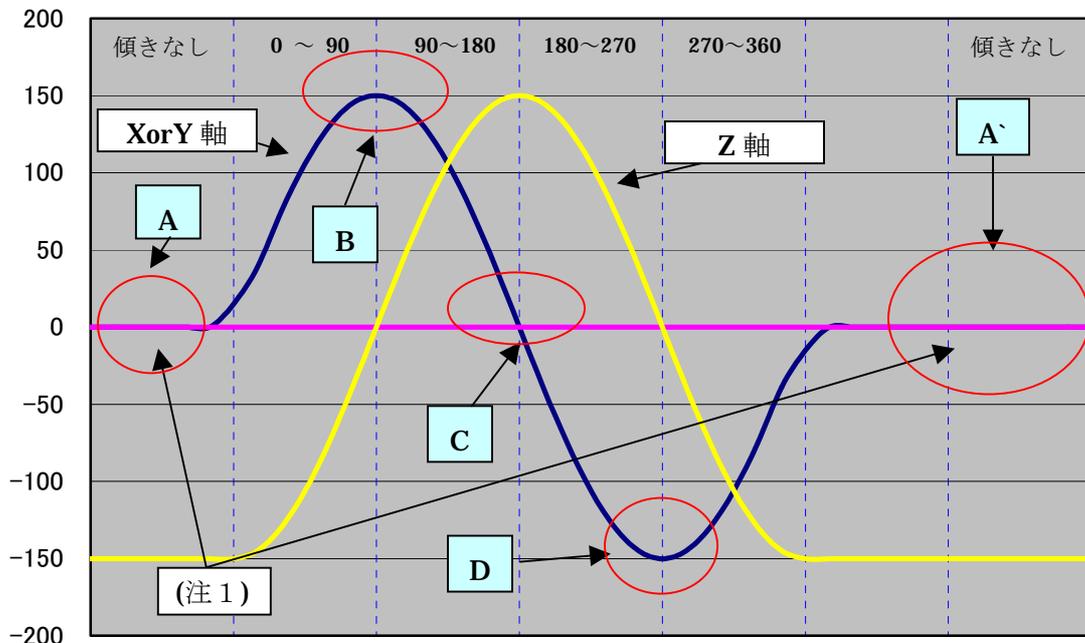
## 傾斜検出編

2007年2月 第1版

### ■解決方法

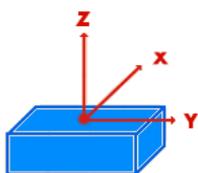
角度設定の問題点を解決するにはZ軸の値を見ることにより解決が出来ます。  
 以下の図のようにZ軸を見ることにより、第一象限～第四象限にそれぞれ違いが表れ判断することができます。

軸	第一象限 0～90	第二象限 90～180	第三象限 180～270	第四象限 270～360
XorY	プラス	プラス	マイナス	マイナス
Z	マイナス	プラス	プラス	マイナス

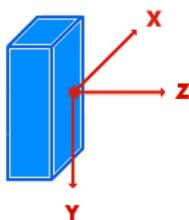


(注1)センサー停止状態との違いを出すためデジタル値がある程度変化しないと、傾きと判断しないようにしているためこの時点ではセンサーは傾いていない状態となっています。

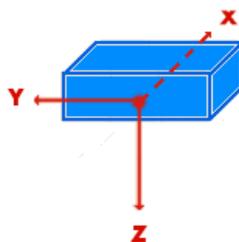
A、A'



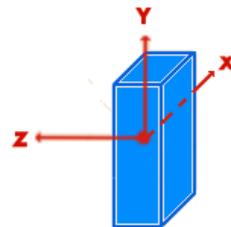
B



C



D



## ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

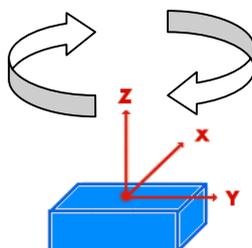
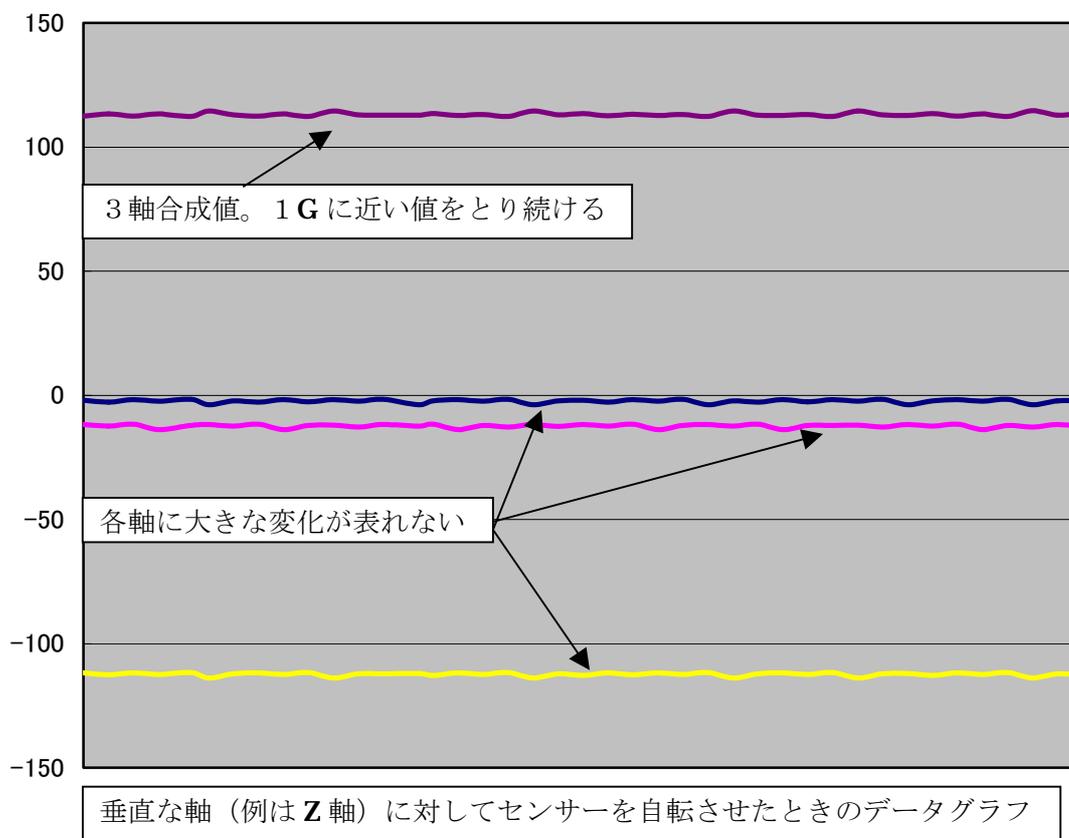
## 傾斜検出編

2007年2月 第1版

## 5 自転の問題点

重力に対して垂直な軸を自転させた場合にセンサーとしては、**X**、**Y**、**Z** の各軸には大きな変化が表れないためセンサー停止状態と識別します。

この問題については、単独のセンサーでは回避できません。



## ピエゾ抵抗型3軸加速度センサー HAAM-326B

## 傾斜検出編

2007年2月 第1版

## ■傾斜の判断方法

傾斜を判断するには、次の条件をすべて満たしたとき傾斜と判断します。

**傾斜条件 1**、3軸合成値が **137(1G)**に近い値をとり続ける

(3軸合成値と **137(1G)**の差が±**25**以内を推奨)。

**傾斜条件 2**、センサーのデジタル値は停止状態でも多少の変化を検出します。停止時に傾斜検出しないために **X** と **Y** 軸いずれも±**10**を超えないと、傾斜と判断させないようにする。

**傾斜条件 3**、センサーを傾けるとき、デジタル値の増減は緩やかに変化するため、前回値と今回値との差(絶対値)が0に近い値(**10**以下)をとり続ける。

**傾斜条件 4**、条件 **1**～**3** が連続する(**20msec**以上推奨)。

本アプリケーションノートでは **4ms** のサンプリングで行なっていますので、5回連続にて条件が成立します。