

## H28年度 合同部会

# 傾斜角を検出するセンサの紹介

情報化機器技術委員会

## 目次

- 背景
- 傾斜角を検出するセンサの種類
- 傾斜センサ
  - 分類と動作原理、用途、建機での使用例
- 慣性センサ
  - 加速度センサ
    - 分類、動作原理、用途
  - ジャイロセンサ
    - 分類、動作原理、用途
  - IMU (Inertial Measurement Unit: 慣性計測装置)
    - 用途、建機での使用例

厚生労働省から「解体用機械等の安全対策の充実事項の周知等について」の要請で、転倒防止警報装置の開発に努める要請があり、転倒防止に使えるセンサについて調べた。

(転倒に繋がる、どの様な状態(静的/動的、応答性等)を検出するかで、複雑さやコストが変わる。これは機種に依存するので、情報化機器委員会では、センサにフォーカスした。)

「解体用機械等の安全対策の充実事項の周知等について(要請)」

厚生労働省労働基準局安全衛生部長から日本建設機械施工協会会長宛

要請事項

3. 車両系建設機械の製造者の団体の取組

(1) 会員事業場等が、車両系建設機械の製造に当たって、改正省令等に定める安全基準に適合させることのみならず、次の安全対策に取り組むよう働きかけを行うこと。

オ [斜面で使用される車両系建設機械の転倒災害を防止するため、接地面の傾斜を測定するための本体角度計及び車体が安定度の限界となる角度を超えることがないように作動する転倒防止警報装置の開発に努めること。](#)

## 傾斜角を検出するセンサの種類

傾斜センサと慣性センサ(加速度、ジャイロ)がある。

### 傾斜センサ

物体の傾いた角度に比例し、センサ出力は、そのまま傾斜角として利用できる。

周波数特性は低く、ゆっくりした動きや静止状態の傾斜角の測定には有効であるが、加速度が加わると重力加速度と異なった方向の加速度が合成され誤差が大きくなる。

### 加速度センサ

物体に加わる加速度を検出するので、重力方向だけでなく、前後、左右方向の動きも検出できる。加速度センサの周波数特性は数10Hzあり、早い動きの測定に有効である。

### ジャイロセンサ

加速度センサでは反応しない回転の動きを測定できる。

# 傾斜センサ

重力方向に吊るした錘や液面と、傾いた物体との偏差を検出する。

## 分類と動作原理

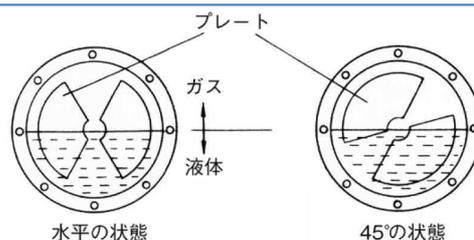
### 振り子式

- 吊るした錘に対するケースの傾きを、回転角センサ(磁気抵抗素子、エンコーダ等)にて検出する。
- 構造的には微小振動を抑制するためシリコン等のダンピングオイルを入れる。



### フロート式

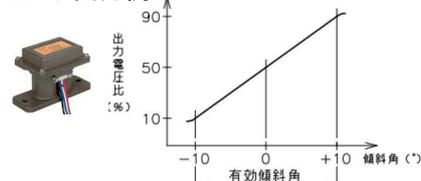
- 液体を用いて液面の傾きを、静電容量変化等で検出する。
- 構造的には液体と同量のガスを入れる。



## 用途

- クレーン車や高所作業車の車体水平検出、建設車両の転倒防止などで使われている。

センサ出力例



マコメ研究所、パシコ貿易、緑測器 カタログ より引用

# 傾斜センサ

## 建機での使用例

- 陸上自衛隊向け掩体掘削機の本体傾斜角度検出に使用

要件: 運転室内に角度計を備えること

具現化: ①振り子式傾斜センサ(2軸)を上部旋回体に設置

②センサ出力(有効傾斜角 $\pm 30^\circ$ )を運転席内のコントローラで検出

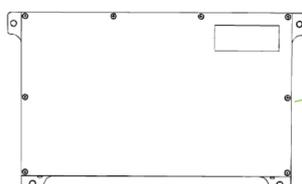
③前後角度、左右角度、合成角度を運転席内の表示器に表示

### ③表示器

最大	9.9°
左右	-9.9°
前後	-0.1°



### ②コントローラ



### ①センサ



Wikipedia、緑測器ホームページより引用

# 慣性センサ

加速度、傾き、振動、回転等を検出する。

慣性センサの例

航空電子  
Technology to Inspire Innovation

慣性センサ

航機事業を支えるコア製品 世界レベルの性能と信頼性

リングレーザジャイロ



■ JG-27



■ JG-28



■ JG-29

加速度計



■ JA-19



■ JA-40



■ JA-5



■ JA-50

光ファイバジャイロ



■ JG-34F



■ JG-330F (3軸FOG)



■ JG-35F



■ JG-108F

Sensor  
慣性センサ

JA-35 JA-25 JA-5H175

JAE Aerospace Div. Proprietary. Copyright © 2015. Japan Aviation Electronics Industry, Ltd. Confidential. 12

H27年度情報化機器委員会でのプレゼン資料: 航空電子 より引用

# 加速度センサ

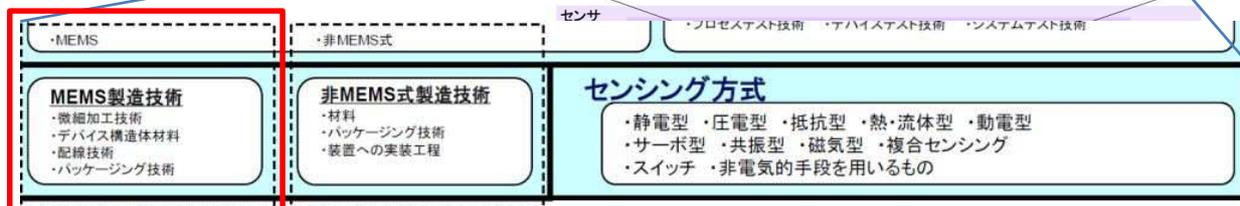
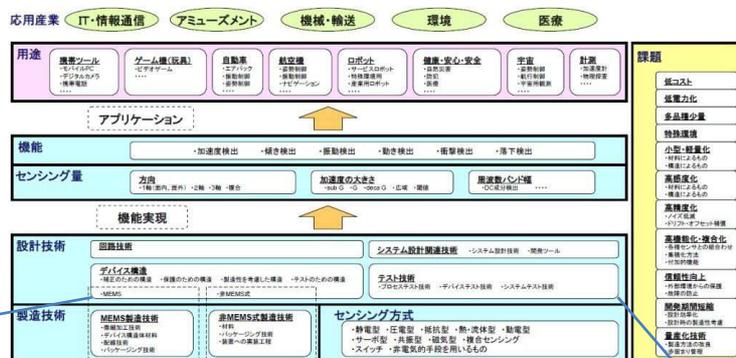
## 分類

多くの種類があり、加速度の検出方式によって大別される。  
ここでは、MEMS(Micro Electro Mechanical System) 技術を応用したMEMS加速度センサを紹介する。

### 加速度:Gによる分類

- ・低G加速度センサ  
(一般的に約20G以下)  
重力・傾きの検知や人の動きの検知に適している。
- ・高G加速度センサ  
(一般的に約20G超)  
主に衝撃の検知に使われる。

加速度センサの技術俯瞰図  
(H21年度特許出願技術動向調査報告書: 特許庁 より引用)



# 加速度センサ

## 動作原理

- ばね定数:  $k$  のばねに支えられた質量:  $m$  の錘にて、ばねの変位量:  $x$  を基に、加速度:  $a$  を検出する。 $(a=kx/m)$   
変位量:  $x$  を計測する方式: ひずみゲージ、圧電素子、静電容量を計測する。
- ばねを使ったセンサは、共振するので、錘を小さくして高い応答特性を得るためにMEMS技術を用いる。

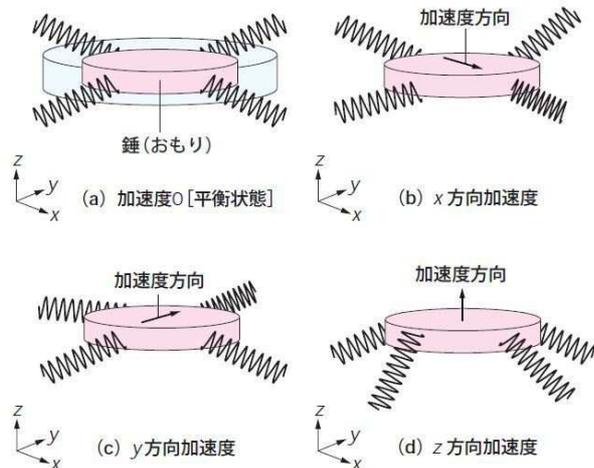


図1 3軸加速度センサの検出原理  
ばね定数  $k$  のばねに支えられた質量  $m$  のおもりを使って、ばねの変位量  $x$  を基に加速度  $a$  を検出する。

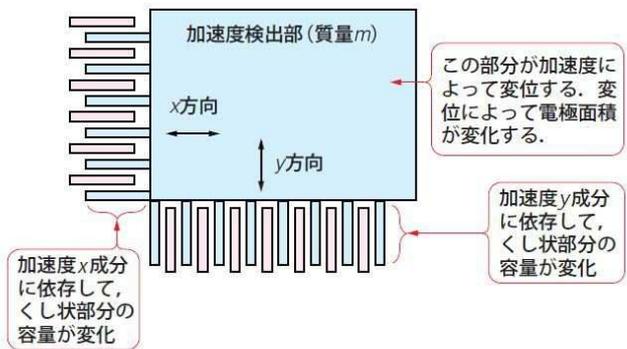


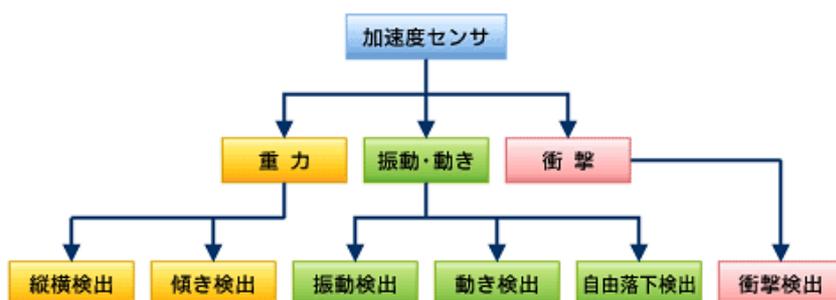
図2 Analog Devices 社ADXLシリーズの構造  
おもりの側面にくし状のコンデンサが形成されており、電子回路により静電容量の変化を加速度に対応する電気信号に変換する。

加速度センサ、角速度センサのしくみ: Design Wave Magazine 2007 August より引用

# 加速度センサ

## 用途(アプリケーション)

- 大きく分けて「重力」「振動・動き」「衝撃」の3つの現象を測定できる。それぞれの現象をうまく検出することで、加速度センサは実際のアプリケーションに役立てられる。
- 例えば、携帯機器画面の表示向きを使用環境に合わせて変更するアプリケーション(縦横検出)では、重力を計測して、加速度センサの傾きを計算することで実現できる。
- 下図に加速度センサの検出対象と代表的なアプリケーションを示す。



- 車載
- ・エアバック
  - ・電子制御サスペンション
  - ・カーナビゲーション、etc
- 民生
- ・ゲーム機
  - ・携帯電話、スマートフォン
  - ・ノートPC、etc

# ジャイロセンサ

## 分類と動作原理

角速度を検出する方法は大きく2つに分けられる。

- ・力学的な慣性を利用する方法
  - ・こまの原理(回転型)
  - ・コリオリの力(振動型)-図1
- ・光学的な干渉を利用する方法
  - ・サニャック効果(光学式)-図2

図1  
コリオリ力  
回転角速度を $\omega$ 、速度を $V$ 、物体の質量を $m$ とすると、回転座標系で運動する物体に働く力は $2mV\omega$ となる。また、この力は物体の運動軸と回転軸に直交する方向に働く。

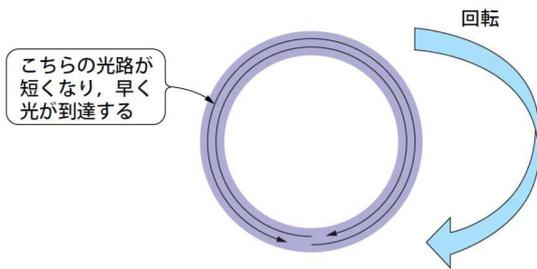
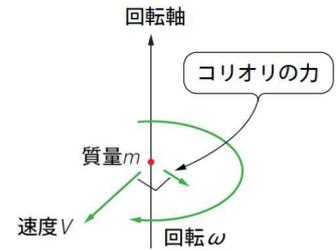


図2 サニャック効果  
リング状の光路に時計方向と反時計方向の光を与え、回転を加えると、回転と反対方向の光路が短くなり、短時間で光が到達する。

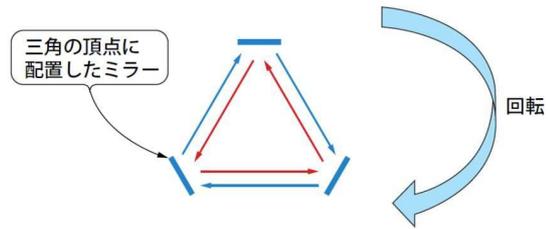


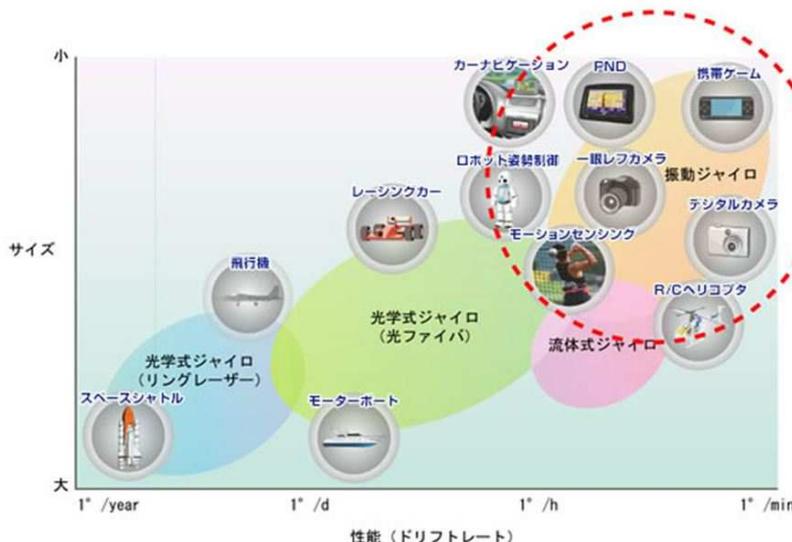
図3 リング・レーザ・ジャイロ  
三角の頂点にミラーを配置して光路を形成したリング・レーザ・ジャイロを示す。サニャック効果を利用している。リング・レーザ・ジャイロは、ジャイロ・センサの中でもっとも精度が高い。

MEMSジャイロセンサの基礎知識: Design Wave Magazine 2004 November より引用

# ジャイロセンサ

## 用途

- ・スマートフォンやゲーム機器(手持ち機器のUIとして利用)、デジタルカメラ(手ブレ補正用のブレ検知)、カーナビ(車が曲がったことを検出)等で利用されている。
- ・また車載グレードに対応したジャイロセンサであれば、安全走行支援として横すべり検知やエアバッグの作動用として横転検知にも使われる。



近年のトレンドとして、振動ジャイロセンサが使われている。

ジャイロセンサとは～仕組とトレンド～: EPSON より引用

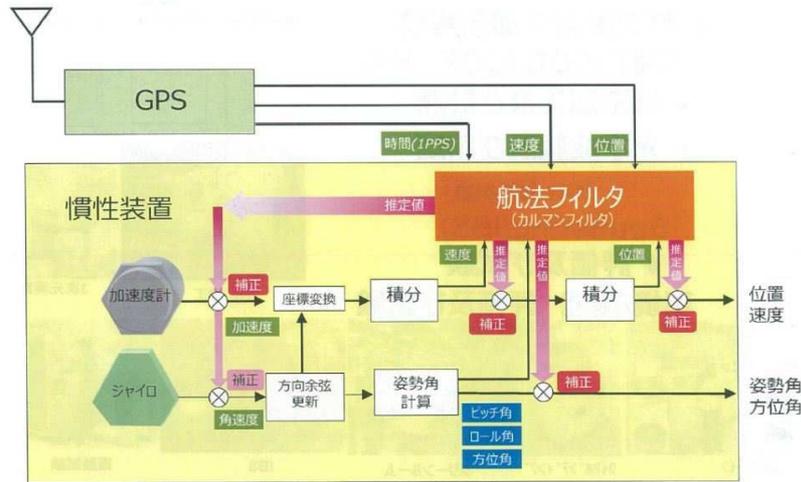
# IMU (Inertial Measurement Unit: 慣性計測装置)

基本的には、3軸のジャイロと3方向の加速度計によって、3次元の角速度と加速度が求められる。

主にロボットや自動車など運動体の挙動を計測・制御する用途に使用される。

## GNSS(GPS)と組合せた例

### ■ GPSハイブリッド



JAE Aerospace Div. Proprietary. Copyright © 2015. Japan Aviation Electronics Industry. H27年度情報化機器委員会でのプレゼン資料: 航空電子 より引用

# IMU (Inertial Measurement Unit: 慣性計測装置)

## 建設機械での使用例

- ・情報化施工建設機械で、動的な車体の姿勢角を検出する。



H25年度建設施工と建設機械シンポジウム  
パネルディスカッション  
資料: コマツ より引用

# 情報化技術委員会の共有情報

収集した情報をexcelで整理し(URL付)、アップデートしながら共有して活用する。

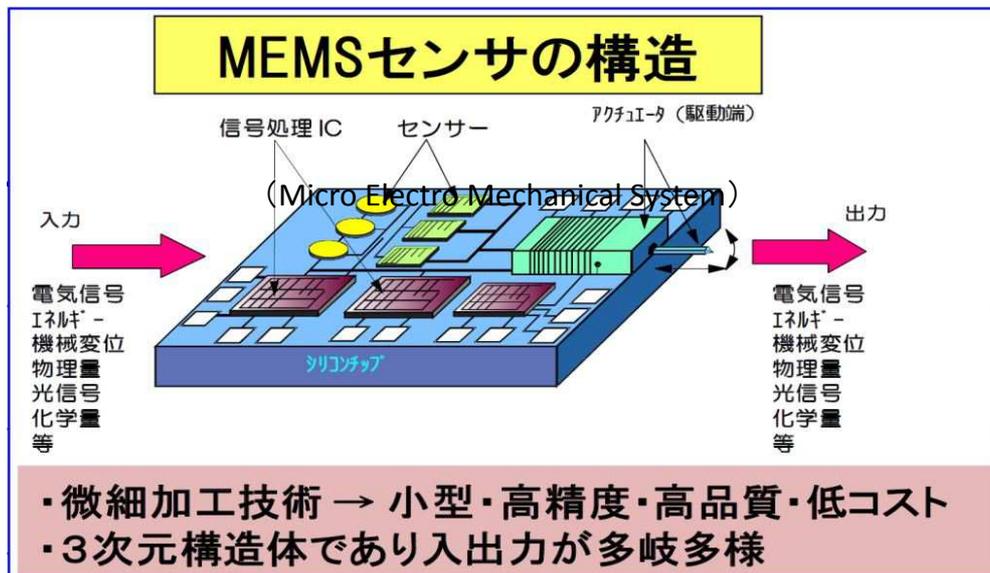
傾斜センサー一覧 (by indexProサイト) <a href="http://www.indexpro.co.jp/search/search-cta13.asp?bcode=100821">http://www.indexpro.co.jp/search/search-cta13.asp?bcode=100821</a>		JIS/07/31 機械部会 情報化機器委員会	
<p><b>2軸傾斜センサ レシオメトリックインクリメータ</b></p>  <p>NS-25/DOG2-XUASシリーズは、最新のマイクロ1軸センサー技術を用いて電解液による液体の歪みと電極間の電流率の相対歪みを検出する超小型センサー。●2軸傾斜センサXY、アナログ同時出力 ●最小分解能: 0.1° ●直線性: 0.1° ●応答周波数: 2.0Hz ●使用周囲温度: -40℃~+85℃ ●耐震性: 未定(約2G) 50, 5~500Hz, 12min ●電源電圧: +0V~+30V 電流: 10mA ●水圧出力: +2.5V ●質量: 40g ●寸法: W41 x D45 x H20 (mm)</p> <p>パシコ貿易</p>		<p>日本リアックス <a href="http://www.linix.co.jp/products/kwd1-xy2.html">http://www.linix.co.jp/products/kwd1-xy2.html</a></p> <p>傾斜計</p> <p>インテクノ・ジャパン <a href="http://www.intechno.co.jp/product/motion/seikatilt/index.html">http://www.intechno.co.jp/product/motion/seikatilt/index.html</a></p> <p>傾斜角センサ</p> <p>MEMSIC <a href="http://www.memsic.com/tilt-sensors/">http://www.memsic.com/tilt-sensors/</a></p> <p>Tilt Sensors</p> <p>住友精密工業 センサネット <a href="http://www.sbow.jp/keisha.html">http://www.sbow.jp/keisha.html</a></p> <p>傾斜センサ</p> <p>関西オートメーション <a href="http://www.kansai-automation.co.jp/products/corvevor/tilt.html">http://www.kansai-automation.co.jp/products/corvevor/tilt.html</a></p> <p>チルト式レベルスイッチ</p> <p>センサテック <a href="http://www.sensatec.co.jp/products/list.php?category_id=4">http://www.sensatec.co.jp/products/list.php?category_id=4</a></p> <p>傾斜センサ</p> <p>Jewell Instruments <a href="http://www.jewellinstruments.com/inclinometers-tilt-sensors/">http://www.jewellinstruments.com/inclinometers-tilt-sensors/</a></p> <p>Tilt Solution <a href="http://www.sankvointernational.co.jp/sensa/keisya/02.html">http://www.sankvointernational.co.jp/sensa/keisya/02.html</a></p> <p>Penny + Giles Controls <a href="http://www.cw-industrialgroup.com/Products/Sensors/Tilt-Sensors.aspx">http://www.cw-industrialgroup.com/Products/Sensors/Tilt-Sensors.aspx</a></p> <p>Tilt Sensors</p> <p>Pepperl+Fuchs <a href="http://www.pepperl-fuchs.co.jp/japan/ja/classid/2032.htm">http://www.pepperl-fuchs.co.jp/japan/ja/classid/2032.htm</a></p> <p>傾斜センサ</p> <p>ナルコム <a href="http://usb.narcnm.co.jp/sensor/6/">http://usb.narcnm.co.jp/sensor/6/</a></p> <p>USB傾斜スイッチ</p> <p>Vigor Technology <a href="http://www.vigorinital.com/cn/class/">http://www.vigorinital.com/cn/class/</a></p> <p>Inclinometer</p> <p>elobau <a href="http://www.elobau.com/Sensors/0.0.0.182.303.html">http://www.elobau.com/Sensors/0.0.0.182.303.html</a></p> <p>傾斜センサー</p> <p>POSITAL <a href="http://www.posita.com/jp/produkte/inclinometers/1/inclinometers_1.php">http://www.posita.com/jp/produkte/inclinometers/1/inclinometers_1.php</a></p> <p>傾斜計</p> <p>ZMP <a href="http://www.zmp.co.jp/products/inclinometer-2?lang=ja">http://www.zmp.co.jp/products/inclinometer-2?lang=ja</a></p> <p>2軸傾斜センサ</p>	
<p><b>小型高精度2軸傾斜センサDPGシリーズ DPG2-RUG</b></p>  <p>計測範囲が±5°、±10°、±15°、±30°、最小分解能は0.001°と高精度。X、Y軸、RS-232Cと電圧出力の同時出力が可能でしかも低価格を実現。建設機械の水平監視などを始めとしてリフト台の高視、高層建築物など構造物の長期計測、風力発電の監視。 ●高直線性(デジタル・アナログ) ●線形誤差: 0.05 ●応答周波数: 2.0Hz ●使用温度範囲: -40℃~+85℃ ●交差軸誤差: 1.4% ●質量: 280g ●寸法: W84 x D70 x H31 (mm)</p> <p>パシコ貿易</p>			
<p><b>高性能・高分解能 埋設型2軸傾斜センサ 908LD</b></p>  <p>地盤の監視、地盤の監視、構造物等の監視用のツール。 高性能・高分解能でしかも低価格を実現した埋設型2軸傾斜センサ。 ●長期監視に耐えし設置場所の変更も可能 ●埋設型埋設型 ●計測範囲: ±125° ●最小分解能: 0.005° ●線形誤差: 0.01° ●応答周波数: 0.15sec ●電圧: +8V~+24V ●電流: 7mA ●使用温度: -25℃~+70℃ ●防水等級: IP68 ●寸法: 240 x 39 (mm) ●質量: 350g</p> <p>パシコ貿易</p>			
<p><b>2軸傾斜センサ XYアナログ同時出力 DOG2 MEMSシリーズ</b></p>  <p>最新のMEMS技術を使って傾斜による静電容量の歪みと電極間の電流率相対歪みを検出するセンサ。センサ部およびマイクロ1軸センサーが完全モールド構造設計のため長期間の厳しい環境下に耐える。 防水構造IP-68に適合したケースに収められたXY2軸の傾斜計を同時に出力が可能。しかも低価格。 ●最小分解能: 0.01° ●直線性: &lt;0.5° ●応答周波数: 約50Hz ●使用温度: 約-40℃~+85℃</p> <p><a href="http://www.pasico.co.jp/pasico/documents/measurement_catalogue.pdf">http://www.pasico.co.jp/pasico/documents/measurement_catalogue.pdf</a></p>		<p>追加</p> <p>TURCK <a href="http://www.turck.co.jp/product/p08.html">http://www.turck.co.jp/product/p08.html</a></p> <p>傾斜センサ</p> <p>センサ素子</p> <p>村田製作所 <a href="http://www.murata.com/ja-ja/products/sensor/inclinometer">http://www.murata.com/ja-ja/products/sensor/inclinometer</a></p> <p>傾斜センサ</p> <p>コーンズテクノロジ <a href="http://www.cornestech.co.jp/products/mems_sensor/various/products_sen_min_asx">http://www.cornestech.co.jp/products/mems_sensor/various/products_sen_min_asx</a></p> <p>モーション検知センサ</p> <p>ジーデバイス <a href="http://www.catch-sensor.co.jp/product/">http://www.catch-sensor.co.jp/product/</a></p> <p>傾斜スイッチ</p>	
<p>オムロン <a href="http://www.fa.omron.co.jp/products/family/561/download/catalog.html">http://www.fa.omron.co.jp/products/family/561/download/catalog.html</a></p> <p>傾斜センサ</p> <p>緑測器 <a href="#">緑測器A1</a></p> <p>傾斜角度センサ</p> <p>マコメ研究所 <a href="http://www.macom.co.jp/PRODUCTS/ca/index.htm">http://www.macom.co.jp/PRODUCTS/ca/index.htm</a></p> <p>傾斜センサ / 傾斜角検出器</p> <p>エフエクター <a href="http://www.fim.com/fim/wcb/bmain/015_030_030.html">http://www.fim.com/fim/wcb/bmain/015_030_030.html</a></p> <p>傾斜センサー</p> <p>淡川泉野電機 <a href="http://www.kuwano.co.jp/D-5.htm">http://www.kuwano.co.jp/D-5.htm</a></p> <p>傾斜角検出器</p>		<p>参考文献</p> <p>AN-1057加速度センサによる傾きの検出 Analog Devices <a href="http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN-1057.in.pdf">http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN-1057.in.pdf</a></p> <p>ピエゾ抵抗型3軸加速度センサ 北陸電気工業 <a href="https://www.hdk.co.jp/pdf/AP/Note/ankaam02_v1.01.pdf">https://www.hdk.co.jp/pdf/AP/Note/ankaam02_v1.01.pdf</a></p> <p>加速度センサ、角速度センサのしくみ-CO出版社 <a href="http://www.cpub.co.jp/dym/contents/0117/dwm011700700.pdf">http://www.cpub.co.jp/dym/contents/0117/dwm011700700.pdf</a></p> <p>センサ技術の現状と課題 H25 マイクロマシンセンタ(国交省) <a href="http://www.mlit.go.jp/common/001023294.pdf">http://www.mlit.go.jp/common/001023294.pdf</a></p>	

## ご清聴ありがとうございました。

# MEMS (Micro Electro Mechanical System)

半導体製造技術やレーザ加工技術等、各種の微細加工技術を応用し、微小な電気要素と機械要素を一つの基板上に組み込んだデバイス/システム（センサ、アクチュエータ等）。

各種の最終製品に組み込まれ高付加価値化のキーデバイスとなっている。



センサ技術の現状と課題(H25/12/17): マイクロマシンセンタ より引用



## 加速度センサ

### 加速度センサの選定

- ①実現したいアプリケーションを明確にして、加速度センサにて測定する現象を絞り込む。
- ②測定対象が何G程度の加速度を持ち得るか、周波数はどの程度かの内容から、加速度センサに必要な測定範囲と周波数応答が分かる。
- ③アプリケーションに要求される誤差範囲から最適な加速度センサを選択する。

# ジャイロセンサ

## ジャイロセンサの選定

### ・ゲーム機やスマートフォン用

大きく振るなどの動き(大きな検出範囲)と細かな動き(小さな検出範囲)の両方を捉える必要があるため、検出範囲を幅広く確保する必要がある。検出範囲切り替え機能が搭載されているセンサで、レンジを切り替える。

例としてSTのL3GD20Hの場合、 $\pm 2000\text{dps}$ 、 $\pm 500\text{dps}$ 、 $\pm 245\text{dps}$ の検出範囲を選択可。

### ・カーナビやポータブルナビの自律航法用

$\pm 100\text{dps}$ ～ $\pm 500\text{dps}$ 程度の検出範囲を利用する。

### ・デジカメ(もしくはスマートフォンに内蔵されるOISモジュールと呼ばれる光学手ブレ補正付きカメラモジュール)用

$\pm 150\text{dps}$ 以下の検出範囲を利用する。

### ・車載用途での、横滑り検知やロールオーバー検知といった走行安全のアクティブセーフティやパッシブセーフティに関するアプリケーション用

$\pm 100\text{dps}$ ～ $\pm 300\text{dps}$ 程度の検出範囲を利用する。

また、民生品と比較すると $+105^{\circ}\text{C}$ や $+125^{\circ}\text{C}$ といった、より高い動作温度での特性や信頼性保証が求められたり、車に搭載することで発生する振動による悪影響を極力削減する工夫が必要になるため、民生品をそのまま車載用途に利用することはできず、車載に特化して設計・製造されている製品群から選択する必要がある。

しっかり分かる「センサの活用法」: EDNjapan より引用