

# 傾斜センサ及び傾斜計(電解液式) 入門

(Electrolytic Tilt Sensors and Inclinometers A Primer)

## 傾斜センサとは何か? (What Is A Tilt Sensor?)

「傾斜センサ」という言葉は、広く使用され、長年にわたって誤用されてきた用語です。重力を基準として使用して、水平位置から（または水平位置に）傾斜したときに、あるタイプの信号を測定、表示、または提供する多種多様なデバイスを記述するために、一般的な方法で頻繁に使用されます。これらのデバイスの多くは実際に傾斜センサですが、その他のデバイスはさまざまなカテゴリに分類されます。ただし、実際にデバイスを真のチルトセンサーとみなすものを区別するには、最初にデバイスを理解する必要があります。

傾斜センサは、角運動で変化する電気出力を生成するデバイスとして定義できます。この定義は簡潔で基本的なものですが、2つの重要なポイントがあります。デバイスには電気出力が必要であり、電気出力は傾けたときに変化する必要があります。この理解により、ボールインチューブ式のスロープインジケータ、振り子分度器、その問題の気泡レベルなどのすべての視覚的/機械的デバイスが自動的に排除されます。また、水銀スイッチや電気機械式トリガーを使用して、オンオフタイプの出力を厳密に提供するデバイスも排除されています。

センサ業界では、傾斜センサという用語は少し細かくなります。通常、これは厳密に検知要素自体を指し、入力/出力調整電子機器はありません。コンディショニング電子機器が追加されると、集約デバイスは傾斜計として知られるようになります。どちらも角運動で変化する電気出力を持っていますが、この違いは一般的に認識されています。

## 傾斜センサと傾斜計のタイプ (Types Of Tilt Sensors And Inclinometers)

今日の市場では、さまざまなタイプの傾斜センサと傾斜計を利用できます。その歴史は50年以上さかのぼります。利用可能なタイプの大部分を網羅する3つの主要なカテゴリがあります。それらは、力のバランスが取れた、ソリッドステート (MEMS) で流体が充填されています。

各カテゴリには多くのバリエーションがあり、それぞれに長所と短所があります。たとえば、フォースバランス型は一般に優れたパフォーマンスを提供しますが、コストは大幅に高くなります。MEMSベースのデバイスは、統合された信号調整と比較的簡単な設置を特徴としています。ただし、熱係数は非常に高く、通常、ほとんどのアプリケーションで許容可能な精度を得るにはかなりの補償が必要です。

流体で満たされたさまざまな傾斜センサは、これまでで最大の産業市場セクターを構成しています。これは主に、パフォーマンスとコストの比率が比較的低いためです。このジャンルの中で私たちは見つけます。主に電解技術と静電容量技術応答時間の制限はありますが、大部分のアプリケーションは事実上静的であり、この属性を無効にします。

## 傾斜センサ(電解液式) (Electrolytic Tilt Sensors)

これまでのすべての傾斜センサの中で最も耐久性のあるのは電解タイプです。第二次世界大戦以前、このセンサのルーツは創世記の電子チルトセンシングにまで及びます。この業界を効果的に開拓した Spectron Glass and Electronics は、最初に市場に参入するために、多くの電解式傾斜センサを開発しました。もともと採用されていた基本設計と動作原理は現在も有効であり、現在も広く使用されています。このテクノロジーは、狭い角度範囲と広い角度範囲の両方の測定に適しているという点で独特です。コンパクトなサイズと高精度を維持します。この機能により、さまざまな市場のサービスが可能になりました。比較的、利用可能な他の流体充填技術はかさばり、浅い角度範囲では高精度を達成できません。

## 動作 (Operation)

電解式傾斜センサの動作の基本理論は次のとおりです。図1は、単軸 傾斜センサを示しています。導電性流体（電解質）は、ガラスまたはセラミックの空洞内に密封され、正極と負極とコモンの間を導通します。電気的ヌル（つまり、レベル）のとき、両方の電極は流体内に均一に沈められ、重力によって水平に保たれます。これにより、正電極と負電極とコモンの間で共通のバランスの取れた（等しい）信号出力が生成されます。

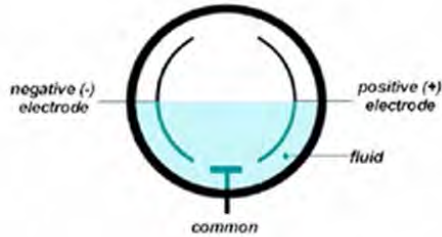


figure 1 - sensor at electrical null, electrodes equally submerged in fluid

センサが感度軸を中心に回転すると、一方の電極では流体内に沈む表面積が増加し、もう一方の電極では同時に減少するため、不均衡が生じます出力（図2を参照）。一方の電極と他方の電極のこの不均衡または比率は、回転角度に正比例します。

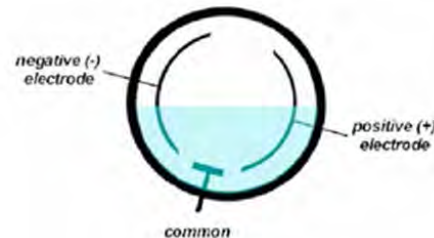


figure 2 - sensor at +15 degrees, positive electrode submerged further than negative electrode into fluid

上の図は、約 $\pm 70$ 度の総検出範囲を持つ比較的シンプルなオープンキャビティ設計を示しています。電極がその角度に近づくと完全に収縮または水没するため、すべての流体充填タイプの傾斜センサは $\pm 90$ 度未満の総検出範囲に制限されます。これが発生すると、センサはオーバーレンジまたは飽和と呼ばれる状態になり、出力の変動は観察されません。この制限は、1つ目に対して（感知軸で）90度オフセットした2つ目の傾斜センサを組み込むアプローチで克服できます。この設計は、完全な360度の検出範囲を提供しますが、正しい角度位置を識別するには、電子機器内の高度な多重化ルーチンが必要です。

$\pm 15$ 度未満の狭い角度範囲の測定では、センサの形状が劇的に変化します。許容可能な精度と感度を維持するには、流体キャビティの半径を大幅に増やす必要があります（図3を参照）。キャビティ内の電極の配置も非常に重要になります。この高度に開発された設計により、サブアーク秒の分解能で、市場で入手可能な最も正確な傾斜センサが生成されます。さらに、内部空洞のプロファイルを変更することにより、流体で満たされたデバイスの一般的な問題である振動に対する感度の減衰において優れた結果が得られました。

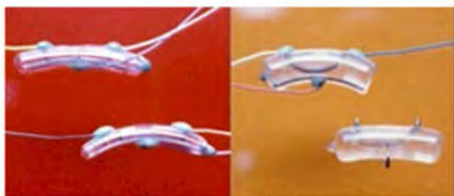


figure 3 - Spectron CG and RG model Electrolytic Tilt Sensors have a total sensing range of  $\pm 0.25$  to  $\pm 12$  degrees.

## 1 軸 傾斜センサ

## 2軸傾斜センサ (Dual Axis Tilt Sensors)

2軸 (XとY) の傾斜検出が必要な場合、2セットの電極が必要です。2番目の電極セットは、最初のセットに対して垂直 (直交) に正確に配置する必要があります。

Spectron は、円筒状のガラスエンベロープと、両軸の正電極と負電極とコモンとして機能する5つのピンで構成される2軸傾斜センサプラットフォームを開発しました (図4を参照)。

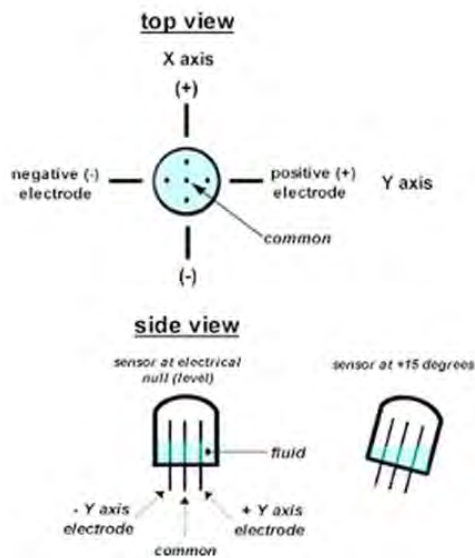
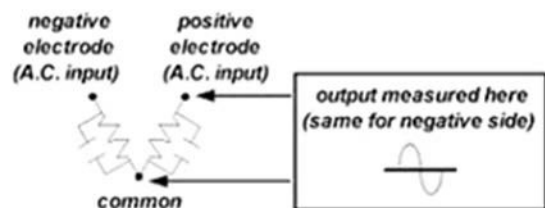


figure 4 - Dual axis tilt sensor outline

## 傾斜センサのコンディショニング (Tilt Sensor Conditioning)

信号調整回路への傾斜センサの従来のインターフェースは、分圧器または比率計としてのものです。これは、励起電圧と温度の影響の小さな変化の正規化などの本質的な利点を提供します。



Equivalent Sensor Circuit

最も一般的な電気回路構成は、A.C.ホイートストンブリッジです。センサは、センサ全体の全励起電圧を備えたブリッジの半分として、またはセンサの各半分と直列に抵抗器を備えたブリッジの下半分として使用できます。ヌル (つまり、ゼロまたはレベル) では、センサは合計スケール係数 (出力) 設定の50%に等しい信号を生成します。どちらかの方向に角移動すると、この比率は比例して増加または減少します。2軸動作の場合、2番目の軸に2つの信号調整回路が必要です。

## 傾斜計 (Inclinometers)



*The Spectrotilt Electronic Inclinometer from Spectron features a variety of electrical interface options, fully potted electronics, EMI and ESD protection, and absolute accuracies as high as  $\pm 0.3$  degrees.*

### 1 軸 傾斜計

前に説明したように、傾斜計は、傾斜センサと統合された信号調整電子機器を組み合わせています。通常、いくつかのタイプの機械的な取り付け機能が組み込まれており、正の基準面を提供します。この面は、設置時に傾斜計を適切に位置合わせするために使用されます。多くのユーザーは、傾斜センサよりも傾斜計を好みます。これは、回路設計、センサの取り付け/位置合わせ、およびキャリブレーションという面倒なタスクを排除するためです。

傾斜センサと同じように、傾斜計は 1 軸構成と 2 軸構成の両方で利用できます。2 軸傾斜計は、1つの 2 軸傾斜センサ、または 2つの 1 軸センサを利用できます。単軸傾斜センサは一般により高い精度を持つため、後者が必要になる場合があります。



*The Spectrotilt II Dual Axis Electronic Inclinometer from Spectron, shown using an SP Series electrolytic tilt sensor.*

### 2 軸 傾斜計

## アプリケーション (Applications)

電解式傾斜センサと傾斜計のアプリケーションは非常に多様であり、ほとんどの業界に何らかの形で影響を与えています。一般に、何かを水平に保つ必要がある場合、またはレベル外の状態（つまり角度）を決定する必要がある場合に、それらを使用します。

建設業界では、クレーン、マンリフト、テレハンドラーの安全システムから、さまざまなタイプのレーザーのレベル参照データの提供まで、アプリケーションの範囲が広がっています。

自動車業界では、キャスターとキャンバーの角度を測定するため、およびセキュリティシステムとRVレベリングシステムのために、ホイールアライメントマシンで傾斜センサと傾斜計を使用しています。

アビオニクスメーカーは高精度傾斜センサを使用しています。

ジャイロ스코プでは数十年、最近では初期調整用の電子スタンバイ機器システムで使用されています。他の注目すべきアプリケーションは、衛星アンテナの位置、地質工学的モニタリング（土壌沈下、構造およびダムモニタリング）、および電子コンパスの傾斜補償です。

## 展望 (Outlook)

電解式傾斜センサと傾斜計の両方に未来は明るいように見えます。電解式傾斜センサの性能と信頼性は、流体が満たされたデバイスの標準を設定し続けています。設計、材料、製造技術の計画的な改善により、さらに高い水準に引き上げることができます。

リーズナブルな価格のマイクロプロセッサ（PIC）が最近入手可能になったことで、デジタル直線性と温度補償が手頃なものになりました。その結果、かつて低コストの傾斜計では達成不可能と考えられていた精度レベルの実現が実現し、新しい市場への参入が容易になりました。今後の開発は、動的パフォーマンスの向上と、総範囲の拡大に焦点を当て、それにより利用可能な市場をさらに拡大します



SPECTRON GLASS AND ELECTRONICS INC.



日本代理店  
株式会社パシフィック                      テクノロジー  
〒273-0005 千葉県船橋市本町 6-18-5 アサヒ船橋ビル 602  
TEL: 047-426-1650    FAX: 047-426-1652  
E-mail: sales@pac-tech.com    <http://www.pac-tech.com>

2020.7.1.