

TECHNICAL WHITE PAPER

位置センサの概要ガイド

著者: **Mark Howard**, General Manager Zettlex UK Ltd

File ref: technical articles/Dummy's Guide Position Sensors

1. イントロダクション

当資料は工学技術者、技術者、学生一特に位置感知や位置センサの知識を至急得る必要ある人達や基礎的理解を得る必要のある人たちのために書かれております。当資料は重々しい論文よりむしろ概略を述べるために故意に短文となっております。

2. 専門用語

技術者は、単なる凡人とは異質な技術者として見せようと理解し難い専門用語を好みます。不幸にも、このような専門用語はある工学分野から別の工学分野を理解しようとする有能な技術者を困難にします。位置センサは例外でありませぬので、いくつかの専門用語の説明から始めます。

先ず、皆さんは Encoder, Transmitter, Detector, Transducer さらに Sender というセンサ用にいろいろな用語に出合うでしょう。しかし殆どの意図と目的ためには、それらの用語は同じ製品には、すべて同じであると考えることができます。全共通したセンサ用語を使用しております。

混乱する何点かのセンサあります。特に近接センサです。実際に近接センサは、物体の有無を決定する近接スイッチであります。スイッチは位置の連続測定するより、むしろ簡単なデジタル出力又は on/off 出力を発信します。この資料はスイッチより、むしろ真のセンサに照準しております。真のセンサとは、言い換えれば測定軌道に沿った位置に比例して電気的信号を生み出すセンサであります。

変位、角度、角度位置、回転、回転型、直線型と位置と言われる一連の用語があります。この資料の目的のために再度申しあげますが、直線型と回転型の両方を総じて Position という共通語を使用いたします。



図 1 - 回転角度センサと直線センサ

全てではありませんが、多くのセンサはスピード又は速度センサとして考えられます。スピード又は速度は位置の変化度合いとして規定されますので、その時に位置が頻繁に更新される位置センサは、実際にスピードセンサと呼ばれます。スピードは一般に時間に関連して、センサ出力を微分したり、さらに簡単には時間に対応する位置の変化をカウントすることによって、近代的な制御システムによって直ちに決定することができます。

多くの位置センサは、アブソリュート又はインクレメンタルのどちらかに区別されます。インクレメンタルセンサは、位置が変化した時に変化するだけですが、アブソリュートセンサは、静止か動いているかどちらかの真の位置に比例した出力を発信します。

センサがアブソリュートかインクレメンタルかどうか決定するための良いテストは、入電した時、どのような出力が起こるか見ることであります。動いてなくとも、正しい位置の信号であればそれは、アブソリュートセンサであります。

3. 位置測定的基础

多分、皆さんは計測理論を学んでいた学生時代からすでに離れていると思います。すなわち、当時は精度、分解能、再現性やその他すべての用語は知っていましたが立派な会社に勤務している多くの技術者はこの論題について忘れてるか真に理解していないかどちらかです。測定に適用される技術用語やかなり難解な技術概念に混乱しております。けれども技術者は用途のために正しいセンサを選択することが重要です。この選択を間違えれば、位置センサに適正金額以上の費用を払うことになります。

すなわち、他の方法や製品または制御システムを間違えれば重要な特性の欠陥となるでしょう。

最初に何点かの定義を上げますと；

- センサの**精度**とは出力の正確さの測定である
- センサの**分解能**は測定可能な位置の最少の増減の出力値の測定である
- センサの**精密**とは**再現性**の度合いである
- センサの**直線性**とは測定される実測位置に対するセンサ出力間の差異である

精度と精密の相違を理解するために標的に射った矢の類推を利用します。正確度は矢が的中にどの位近いかを示します。

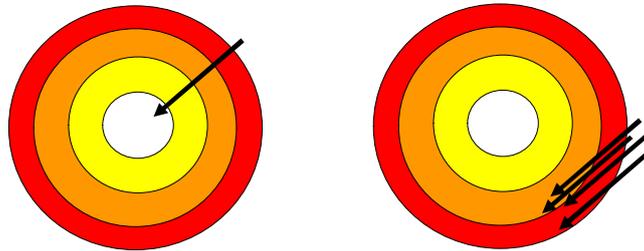


図 2 - 正確度のある矢 (左) と精密度のある矢 (右)

多くの矢が射たれたならば、精密度は矢のばらつき範囲と同等となります。全ての矢が密にまとまっていたならばばらつきは、精密又は別の表現で高い再現性が可能と考えられます。

完全な直線型位置センサも又、完全に正確であります。ほとんどの用途において、直線性は正確度に同等すると考えられます。常に非常に正確なセンサを規定することは、余りに真っ正直で正しいと思いますか？

不幸にも、このような進め方にはいくつかの思いがけない問題が起こります。第一に高精度のセンサは高価であること。第2に高精度のセンサは注意深い取付が要求され、振動、温度差異による膨張やコスト高に最もなりそうのために実用的ではないでしょう。第3は高精度センサの何点かはデリケートでもあり、過酷な環境において故障や不良で苦しむでしょう。

適正な選択の方策は過剰や過小でない要求で規定することです。例えば、工業流量計用の位置センサにおいて、直線性は液体の流量特性は非常に非直線性のようなので重要な要求値ではありません。むしろ変化する環境条件による再現性が重要なようであります。分解能と再現性は、多くの工学用途において、直線性以上に重要であることを理解されるべきであります。

例えば、CNC 機器においては、精度と精密度両方とも重要な要求値であります。従ってメンテナンスなしで長期間にわたり汚れた、濡れた環境でも高精度（直線性）、分解能、高再現性を持った位置センサが決定的な要求となります。

4. 位置センサの一般的な種類

位置センサは、高級な軍需防衛用途から低価額の自動車・民生用途まで非常に広い種々の工業・商業用途に使用されております。 実際には、我々の生活において測定が必要であることは、温度測定の次に位置測定は2番目として最もよく知られていることです。

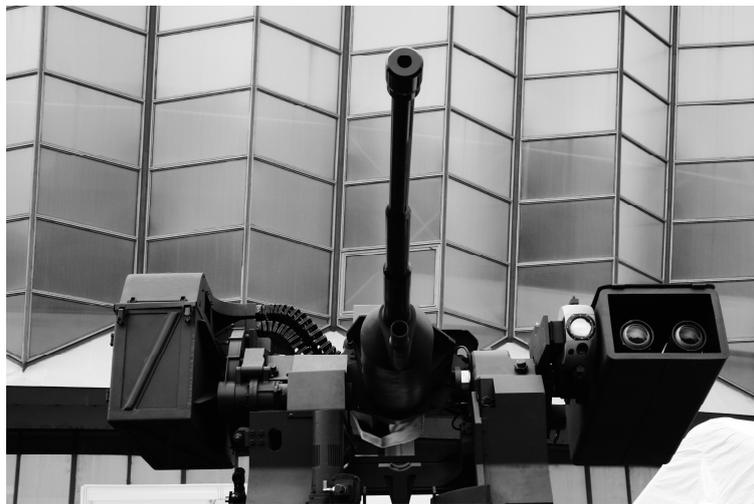


図 3 - 位置センサは軍事防衛関係に使用されています

最近、どのようにして適正な位置センサを選択するか迷っている人達がおりますので、この章において主要センサとそれらの長所・短所の概略を述べます。

4.1 ポテンショメータ (Pot's と略称)

無接触センサの傾向になっておりますが、Pot's は最も普遍的なセンサとして継続して使用されております。Pot's は、電氣的接点が抵抗体を摺動しながら電圧変化を測定します。つまり位置は、電圧出力に比例して測定されます。Pot's は回転型、直線型、非直線型があり、一般に小型で軽量です。簡単なデバイスで低コストですが、高精密型は\$200 以上にもなります。0.01%以下の直線性も抵抗体をレザートリミングすることによって可能です。

Pot's は最も適正な無理のない耐久回転速度と、良い環境と厳しくない特性であれば非常にうまく稼働します。しかし Pot's は、激しい振動環境や抵抗体を削るゴミや砂のような外部異物により摩耗し易くなります。より高品質の Pot's は、特に高い回転数の表現で長寿命を引用しているが、この寿命はしばしば振動の影響を無視しております。

Pot's はよく無限小の分解能を引用しております。理論的には正しいですが、多くの制御システムはデジタルデータを要求しておりますので、実際の分解能はデジタル変換に対応するアナログ分解能です。（このためにある程度の費用を含める必要があります）

奇妙なことに Pot's は宇宙航空、医療や石油化学等の産業における安全関連用途において、容易なデバイスとして分別されていることです。Pot's は多くのフェラーモードの条件があるのに検証するために、電氣的センサと同じように厳しい設計や緻密な選択の条件がないことであります。馬鹿げたことですが、ある用途で不信頼性の Pot's を交換することを難しくさせていることが真実の状況であります。



図 4 - 典型的な 1 回転型
ポテンショメータ

長所： 安価、簡単構造、小型、軽量、精度調整ができる

短所： 摩耗、振動、外部異物、極度の温度

合わせて読む：

- [The True Cost of Potentiometers](#)
- [Why do engineers dislike potentiometers?](#)

4.2 光学センサ

光学センサは通常 Encoder と呼ばれます。そして数ドル位のシンプルタイプから、1 万ドル以上もする精密タイプまでの範囲がある位置センサで、共通の形状をしております。全てこのセンサの基本動作は同じです。光ビームが格子を通過又は反射し、その結果としての光が光検出として利用して測定され、位置信号が発信されます。

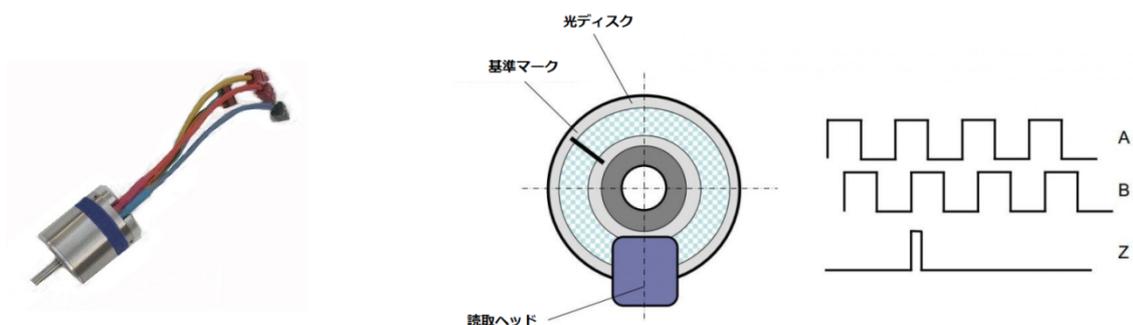


図 5 - 光学センサは角度を測定する為に光ディスクを使用します

パッケージ型や回転型は、広く使用されております。一般には 50 - 5,000counts/回転で、良い環境条件においてうまく稼働することが証明されております。しかしより堅牢が必要な環境においては、もしレンズや格子を形成しているシステムが汚れや、金属粉または水のような外部異物で曇ったりすると測定は失敗するでしょう。光センサの選択においては、もしセンサが 1 回転で 1000counts と引用されている場合は 1 回転の 1000 分の 1 の精度があると意味しないことを理解することが重要であります。

センサのデータシートは注意深く読む必要があります。特に Encoder kits または Ring Encoder については極度に正確なセンサの取付やコンタミの無いことの確認を要求されている Data Sheet に注意が必要です。

ガラスデスクを有している Encoder は耐衝撃性に限度があります。

長所：高分解能、正確に取り付ければよい精度、広い用途

短所：外部異物、無警告に致命的な不良、耐衝撃、過酷な温度

合わせて読む：

- [Optical Encoders Vs. Inductive Encoders](#)

4.3 磁気センサ

全ての磁気センサは、類似した測定動作を利用しております。マグネットが磁気検出素子に相対して動き、磁界が相対する変位に比例して変化します。通常の形式はチップ化した Hall 効果デバイスです。これらは最も適正な測定機能を持って自動車や電機モーター用途によく使用されます。



図 6 - Hall 効果センサは磁気センサの代表例です

磁気センサは光デバイスに想定される多くの欠点を克服しておりますが、磁気センサは磁気的ヒステリシスと動的部品と静的部品間の精密な機械設計の必要からあまり使用されており

ません。磁気センサの Data Sheet の取付許容差、温度係数、使用温度について注意深く検討すべきです。

さらに考慮することは、近接する磁性体材料と電送ケーブルです。マグネットはある外部異物を吸着して、時間につれて微粒子又は金属屑の塊が形成されてこれが事故の一要因となります。磁気センサに使用されている新しい NdFeB 磁石は極度に割れ易いので激しい打撃や衝撃のある用途には一般に選択されません。

長所：かなり堅牢、殆どの液体の影響を受けない

短所：温度、ヒステレシス、精密な機械設計が必要、近接した金属及び DC 磁界の影響、打撃/衝撃に弱い。

合わせて読む：

- [Magnetic Vs. Inductive Position Sensors](#)

4.4 磁歪式センサ

磁歪式センサは、数種類の磁歪材料に存在する Magnetostriction と呼ばれる磁歪現象を利用しております。マグネットがこれらの材料に近づくと、反響するこれらの材料に沿って通過するエネルギーが起きます。位置は、細長い薄い磁歪材—通常は細い線又は薄い板状—に前後に駆動によるパルスエネルギーにかかる時間から測定されます。

殆どすべての磁歪式センサは直線型です。なぜならばデリケートな細長い磁歪線が押し出し材のようなハウジングに注意深く保持されているからです。

ハウジングは磁歪デバイスが摩耗又は寿命の問題が起きないような構造となっており、油圧杭打機のような高圧な用途に使用が可能です。

各センサは製造者によって調整が必要で、精密なハウジングの組立と合わせて比較的が高価となります。

また技術的課題としては、高速用途において何等かの影響を受け易いこと—特に顕著なのは温度の影響



図 7 - 磁歪式センサは大体直線センサです

響です。磁歪式のデータシートは、よく一定温度での精度を引用しておりますので、設計技術者は規定されている温度係数を用いて自身の補正をすることが必要となります。

小型磁歪式は、デリケートでストローク長のどちらかで取付けることが厳しいです。結局、磁歪式センサは過酷な衝撃や振動のある環境では選択すべきではないです。

長所： 堅牢、高圧力用途に最適、%精度は測定レンジが長い程よくなる
短所： かなり高価、 衝撃・温度の影響、 ストローク 100 mm以下は精度悪い

合わせて読む：

- [Magnetic Vs. Inductive Position Sensors](#)

4.5 静電容量式(Capacitive)センサ

Capacitor は、蓄電する電気デバイスであります。通常は絶縁体で分離された 2 枚の導電性のプレートで構成されております。Capacitor が蓄電できる電気量はプレートの面積とそれらが重なる割合、分離している距離、プレート間にある絶縁体の透過率で変わります。このもっとも簡単な構成で Capacitive 位置センサはプレートの分極を測定します。変位は通常は荷重・歪量と圧力測定用として 1 mm以下の範囲であります。

別の構成として、測定方向に沿って一列にカットまたはエッチングされたプレートで回転型と直線型に使用されております。別のプレートがそれらに交差して動くとき軸方向に沿っている回路の Capacitor は 2 個の部品の相対位置を示しながら変化します。

問題なのは、プレート等のオーバーラップと同時に蓄電量もまた温度、湿度、周囲の材料や外部からの異物で変化します。従って安定した、高精度の位置センサを作るために、技術開発に挑戦しなければなりません。

私は約 30 年間センサ、自動車とエレクトロニクス分野で働いておりますが、未だにも Capacitive 位置センサの選択に満足している設計技術者に巡り合っておりません。

Capacitive 位置センサは熟練の技術者には評判がよくありませんし、安全関連用途には選択されて無いようです。ある製造者は Capacitive と呼ぶことを止めて、代わりに問題を混乱するような蓄電器、charge 結合器又は Electric effect という別の用語を使用しております。良くないことですが、悪い方向に向かっていることが随分たくさんあります。もし高い安定と医療用途におけるような高精度の測定が必要なければ、このセンサを避けることが最良であります。

長所：小型、低消費電力

短所：温度と湿度係数が重大、外部異物に影響し易い、厳しい取付許容差

合わせて読む：

- [A Comparison of Capacitive and Inductive Position Sensors](#)

4.6 従来の誘導型センサ

従来の誘導型位置センサは、誘導式又は変換式の基本動作で作動します。そして 100 年間以上も使用されております。これらのセンサは、安全性や信頼できる作動のため優れた評判を得ております。そして多くの安全関連の用途に殆ど自動的に選択されております。

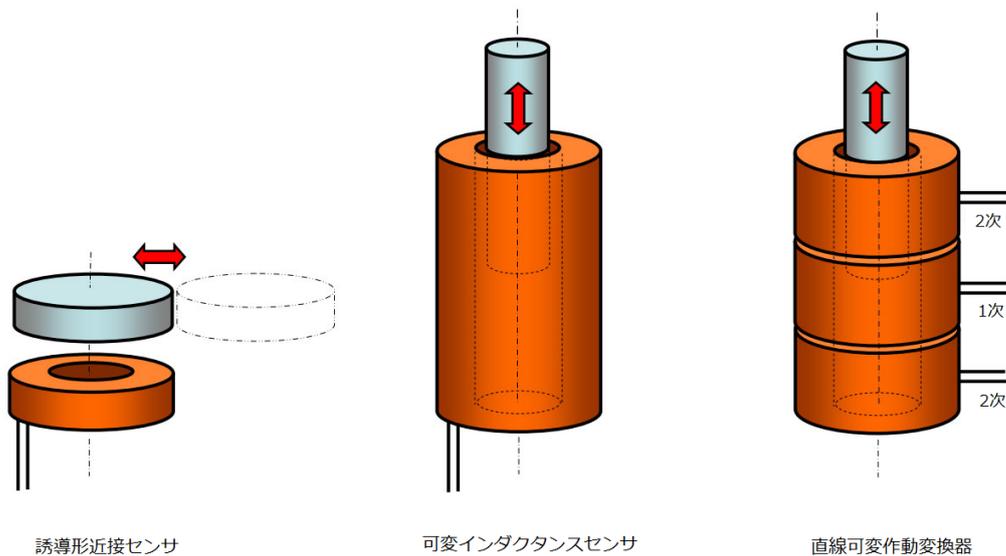


図 9 – 従来の誘導型センサは安全性と信頼性に定評があります

直線型誘導型位置センサは通常、可変型レラクタンスまたは直線型可変差動トランス（LVDT）と呼ばれています。回転型はシンクロ、レゾルバまたは RVDT として知られております。LVDT は少なくとも 3 次の巻線（1 次巻線と 2 組の 2 次巻線）を持つ変換構造を使用しております。鉄の棒が動くとき 1 次巻線と 2 次巻線間の電磁結合が変化します。誘導された信号の比率が巻線に相対する棒の位置を表示します。この比率測定技術が、LVDT の高い安定性と測定特性の重要な鍵です。

光や磁気センサは感知ポイントの近くに電気回路を設置することを要求されますが、誘導型センサは感知するエリアから離れたところに電気回路を置き換えることができます。従って、

過酷な環境のところにセンサを置き、より環境の良いところに電気回路を置くことができます。

しかしながら巻線変換構造のため、これらのセンサは大きく、重厚で高価の傾向となっております。

長所：高精度、高信頼性、堅牢、過酷な環境において広く利用できる

短所：高価、大型で重量が大きい

合わせて読む：

- [Traditional Inductive Vs. New Generation Inductive Sensors](#)

4.7 新世代の誘導型センサ：IncOrder

IncOrder と呼ばれる新世代の誘導型センサは、従来の誘導型センサと同じ動作原理を利用しております。厳しい環境において優れた、無接触式の測定特性を提供しますが、従来のセンサの重厚な巻線体よりむしろ柔軟で硬直な基板に印刷された回路を利用しております。

巻線を印刷に移行することによって、下記の特定な利点があります；

- 生産コスト、外形寸法、重量が極度に低減
- 形状要素に非常に柔軟性
- 巻線工程からの精度不良の要因が無くなる
- 非直線、2D&3D の位置感知のような複雑な測定方法が可能
- 多重センサが多層回路基板を利用することによって同じ場所に設置することができる（例：安全関連用途における重複センサ）



図 10 – 新世代型 IncOrder 例

EMC 特性はレゾルバや LVDT と同様に優れております。これは宇宙航空や軍需用途に新世代の誘導式デバイスとして採用が増加していることが証明しております。

長所：高精度、高信頼性、堅牢、多重構造が可能、小型、軽量

短所：ポテンシオメータより高価

合わせて読む：

- [IncOder Inductive Encoders](#)

5. よくある失敗例

下記は、技術者が位置センサに関して一般に最も陥る、失敗のリストであります。

センサ不良の費用を算出しない：

多くの技術者は、低価額解決への選択を望んでいます。これは単に、低価額センサを選択することと同じではありません。市場におけるセンサ不良の費用は、より以上の困難に発展して、位置センサの何倍以上の高価になります。言い換えれば市場において不良を起こさないセンサを選択することは、最良且つ最少の雑費用の解決となるのが一般的です。さらに不良の内容を考慮すべきです。故障したり、動作が止まるようなセンサは機能が止まったり、誤読以外は信用できるセンサより通常ははるかに問題的にも費用的にも少ないです。費用や安全性の条件において誤読するセンサの結果は単に動作が止まったりエラー警告を行うセンサよりはるかに高いです。

再現性、分解能、精度の違いについて理解されてない：

3章を振り返って、これらの基本を理解しているか確認願います。分解能と精度を混乱している間違いを避けるべきです。よく位置センサ業界で宣伝しております、1回転で100万count 発信する光エンコーダは当然、100万分の1の精度を意味しません。それどころか逆に再現性は多くの工学用途でしばしば重要な要求値となっております。そして高精度（高価でもあるので）センサは指定する必要はありません

センサ形式と環境のミスマッチング：

光、磁気、静電容量、抵抗及び誘導技術を利用することによって、ほとんどの基本的な物理現象を管理する方法で区別しています。それぞれの技術は、長所と短所を持っており、一般ルールとしては下記のような選択はしません；

- 抵抗体 (Potentiometric) ,光、静電容量センサは汚れた、高湿度 (濡れた) 環境には不適合、屋外機器において凝縮水や表面結露は不良となる一般要因です。
- 光、磁気、静電容量センサは極度に高い使用温度では不適用です。(ほとんどのセンサは 125°以上では動作しないでしょう)
- 高い測定特性を要求される磁気センサは外磁界の除去や精密な機械取付ができなければ不相当であります。
- 過酷で長時間の振動がある用途では、Pots は不相当です。この場合、摺動する電氣的接点で微小な動きを誘導する多振動で摩耗や不良となります。

直接測定でなく測定を推論すること：

位置センサの良い設計ルールは、興味ある物の位置を測定することであり、言い換えれば、その物を直接測定することであり、トランスミッションの末端に付いているギアやドライブモーターの位置のような、別の部品の位置を測定することによって部品の位置を推定したり算出しようとははいけません。バックラッシュ、ガタ、部品間のバラツキ、機械的的不良、温度差による膨張/収縮などがありそうであり、これらは必ず測定特性や信頼性を退化させるでしょう。

ケーブルとコネクタを忘れること：

ケーブルとコネクタは、センサ不良の主要な要因となります。設計や特殊設計において駆動、衝撃や振動を受ける用途においてケーブルの捻じれから抑えることを説明されているか確認することです。

センサのデータシートの僅かな印字を読み落とすこと：

位置センサの業界は競争的になっています。まずいことに、これが仕様資料において何社かのメーカーは少し過剰な競争に向かっています。しばしば彼らは業界もまた多くの技術者がこのような資料はよく読まないことを知っているのうまくやっています。この結果、例えばセンサは 1 回転 10,000count の分解能で発行されておりますが、精度については記載されておりません。別の例では、顕著に高い分解能ですが、かなり再現性が落ちるセンサがあります。言い換えますと、分解能は高いですがセンサ出力にかなりのノイズがあることと

なります。このトリックは、データシートの表題の数字としては間違った方向ではありませんが、しかし詳細に読むことです。

6. 位置センサの仕様の決め方

あなた方の企画において、位置センサを選択するためには第1に最も重要なステップは必要とされるすべてを絶対的に明確にすることです。特にセンサの分解能、再現性と直線性であります。これらの特性の何点かを過剰仕様にする、不必要な費用の要因となるでしょう。秘訣は最少の費用で（あなた方の分析で市場不良に対する引当金を含めることを忘れずに）目的にあったセンサを見つけることです。

あなた方は仕様において、全重要項目を考慮していることを確認するために、次の項目を利用できます。同封の機械図面と一緒に位置センサ供給者にこれを提供すれば、あなた方の議論のために信頼できる基本仕様を得ることができるでしょう。

- A. 形状 : 例えば、直線形、回転形、湾曲形又は2D, 3D
- B. 場所の範囲 : 機械的固定ポイント、ケーブル配線、空白範囲
- C. 測定方法 : インクリメンタル又はアブソリュート
- D. Full-scale : 例えば 360°又は600 mm
- E. 分解能 : 言い換えれば、測定しなければならない最少の変化値—例えば 0.1°又は0.2 mm
- F. 再現性 : 言い換えれば、同じ測定点に戻した測定値の安定性—例えば 再現性 = +/-0.025mm
- G. 直線性 : 完全な正確読取値からの最大許容できる偏差。しばしば多くの用途で最も重要なことは実際の再現性であるとも認められるので直線性については注意深く考慮願いたい。
- H. 使用と保管温度範囲 : -40°C~+85°Cが一般的である
- I. 電源 : 例 ; 5V, 12V or 24V
- J. 電氣的出力 : 例 ; Serial Data, A/B pulses, 0-10V, 4-20mA
- K. 異常な特性要求 : “できるだけ低い省電力を保持したい” 又は“厳しい硫酸の中に浸す”又は“静電容量デバイスを使用しているが信頼性の問題ある”と言うような特質なこと。

お問い合わせについて

独自の非接触技術を使用した位置センサは、過酷な条件下でも精度と信頼性の高い計測を実現します。当社の誘導式位置センサは、医療、防衛、航空宇宙、産業、海洋、モータースポーツおよび石油化学分野におけるサーボ制御、モーターエンコーダおよびユーザーインターフェイスのアプリケーションで使用されています。

Zettlex UK Ltd

Newton Court, Newton, Cambridge, CB22 7ZE, United Kingdom

Contacts: Mark Howard or Josef de Pfeiffer

Email: info@zettlex.com

Telephone: +44 1223 874444

Web: www.zettlex.com

【日本総代理店】

株式会社緑測器

東京都羽村市神明台 3-2-8

[TEL:042-554-5650](tel:042-554-5650) FAX:042-554-5950

E-Mail: sales@midori.co.jp

Web: www.midori.co.jp