

センサーセレクションガイド

(テクニカルノートTN16)

なぜ振動をモニターするのか？

90年代以降、製造業者はいかに生産性をあげることが出来るかが世界的な競争やプレッシャーをはねのける主要因となってきました。機械の振動モニタリングは、全体的な生産コスト下げのため非常に有効な手段になっています。産業界で使われている機械は、振動を測定することにより機械の健康状態を知ることができます。機械のモニタリングは機械の振動の履歴を見ることにあります。長時間にわたる振動レベルをモニタリングすることにより、機械に深刻なダメージが発生するまえの段階で予知することが可能です。そうすることにより機械の破損や製造ラインが止まるといったダメージを防ぐことが出来ます。懸念されるような問題が早期に発見された場合、プラント技術者は最もコストをかけない方法によりメンテの予定を組むことが可能となります。振動を解析することは、すなわち機械の状態を判断することであり、問題箇所や原因も把握することになり、ひいては修理期間を短くし、コストを最小限に抑えることになるのです。

一般的な振動センサー

振動のモニターと解析のために重要なポイントは機械に取り付けられるセンサーにどんなものを使うかです。振動モニターにより検知されるパラメーターは3つありますが、それは変位、速度及び加速度です。これらのパラメーターは相互に関係しており様々なセンサーにより検知できます。変位、速度、または加速度に応じたセンサーの選択は、非測定対象物の周波数や、信号レベルにより決定します。

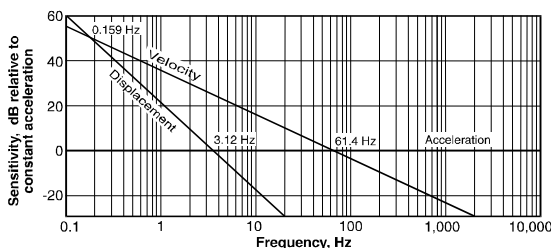


図1 Figure 1. The Relationship of Velocity and Displacement to Acceleration

図1には一定の加速度に対しての、速度と変位の関係が表されています。どのようなセンサーを使い、どのように取り付けるかが機械の状態を診断する上で重要となってきます。

変位センサー

変位センサーはシャフトの動作や内部空間を測定するのに使われます。ベアリングやその他のサポート構造からのシャフト振動を検知するため、エディプローブなどの非接触プロキシミティセンサーが使われます。これらのセンサーは、代表的にはスリーブベアリングを使った機械のデザインに見られるような低周波数や低振幅変位の測定には最適です。

圧電変位トランスデューサーはノンコンタクトプローブをマウントする場合に起こる問題を解決するために開発されましたが、回転軸受けベアリングにはより最適です。

圧電センサーは、非測定物とプロキシミティセンサー取り付けポイント間、これは例えばシャフトなど、相対的運動量の出力よりもむしろ、構造物の絶対運動量に比例した出力を産み出します。

速度センサー

速度センサーは低～中周波数の測定に用いられますが、振動測定や回転機械上でのバランス操作には有効です。加速度センサーと比較すると、速度センサーは高周波振動に対しては感度が低くなるため、アンプのオーバーロードに対しての感度が落ちます。このオーバーロードは低振幅や低周波信号の忠実な再現性には有効です。従来から販売されている速度センサーは、電磁システム（コイルと磁石）を使っており、これにより速度信号を産み出します。ハーディア圧電センサー（内部組み込み加速度計）が最近非常にポピュラーに使われています。従来のコイルと磁石を組み合わせた速度センサーと圧電型センサーの違いが表1に示されています。

加速度センサー

加速度センサーはほとんどの振動モニター用で使われていますが、低周波数から高周波数までをカバーし、一般用途から特定用途向けまで様々な製品があります。産業用異常診断モニタリングではもっとも普及しているセンサーです。

	Coil & Magnet Velocity Sensor	Piezoelectric Velocity Sensor
Flat Frequency Response 20 - 1,500 Hz 2 - 5,000 Hz	Yes No	Yes Yes
Phase Fidelity 2 - 5,000 Hz	Poor	Excellent
Low Off-Axis Sensitivity	No	Yes
Reduced Noise at High Frequencies	No	Yes
Linearity	Good	Good
Mounting in Any Orientation	No	Yes
Operation to 120°C	Yes	Yes
EMI Resistance	Poor	Excellent
Mechanical Durability	Fair	Excellent

表1 電磁式速度センサー対圧電素子式速度センサー

圧電素子センサー

非常に頑丈で固体構造の圧電素子センサーは過酷な環境で使用されます。ホコリや油、また化学薬品などにさらされる環境でも使用できることが必要となりますが、ウィルコクソンのセンサーは広い温度範囲や激しいショックや振動にも耐えうる構造になっています。今日普及しているほとんどの圧電センサーはアンプを内蔵しています。センサーに組み込まれた圧電素子は加速度に応じた信号を産み出し、この微小信号は加速度測定のため増幅されるか、またはセンサー内部で速度信号や変位信号に変換されます。圧電型速度センサーはコイルと磁石を組み合わせたタイプよりも頑丈で、より広い周波数帯域をもち、精度の高い位相測定ができます。

圧電素子材料

振動センサーに今日使われている基本的な2つの材料は複合圧電セラミックと石英です。

この両方とも振動測定に非常にすぐれています。この両方とも振動測定に非常にすぐれていますが、2つの材料の特性によりデザイン範囲が広がります。例えば、自然界の圧電石英は最近使われている特殊圧電素子に比べると、電荷感度は低く高いノイズを発生します。現在では振動センサーのメーカーのほとんどが、センサー用に開発された圧電材料を使っており、そのノウハウにより熾烈な環境で正確なデータを得られるよう設計しています。圧電セラミック材料からの非常に高い出力感度により、石英に比べるとより高い周波数においてのデザインを可能にしました。

石英の熱応答性対圧電セラミックの議論がよくされます。石英と圧電セラミックの両方とも、

材料がセンサーハウジングの中に組み込まれていない場合に温度変化により信号を出力します（パイロ電気効果）。この効果は圧電セラミックにおけるものより石英における効果の方が低くなりますが、センサー内部に最適に取り付けた場合、すばやい熱伝導からは隔離され、これにより材料間の相異がさして問題ではなくなります。熱信号の主なものは、石英のベースに達するようなセンサーの金属膨張変形により生まれます。このエラー信号は、センシング用材料というよりも、機械的デザインによるものといえます。最適なセンサーのデザインにより、この変形による影響を最低限に抑え、熱変化によるエラー信号を最小限に抑えられます。（ページ4、「温度範囲」の項を参照）

高い品質の圧電セラミックセンサーは、製造工程におけるエージングにも十分耐え、これにより長期間にわたり安定し、信頼性の高い出力特性を確保できます。石英とセラミック間での理論的安定性は実質的には無視できる程度のものであり、より高い感度や高温でのすぐれた安定性は、高い品質の圧電セラミックを開発することで可能になりました。

産業用センサーの選択

圧電型産業用振動センサー（加速度、速度、変位）を選ぶ場合、どのような用途に使用するかによって、多くの要素を考慮しなければなりません。代表的な要素とは以下のようなものです。

- ・ 振動レベルは？
 - ・ 測定対象物の周波数範囲は？
 - ・ 使用温度範囲は？
 - ・ 腐食をおこさせるような化学薬品が周囲にあるか？
 - ・ 燃焼するような環境があるか？
 - ・ 強い音響、電磁フィールドが周囲にあるか？
 - ・ 静電気が周囲で起こり易いか？
 - ・ 機械的にグラウンドされているか？
 - ・ センサーのサイズや重量に制限があるか？
- 他の要素としてはコネクタ、ケーブル、及び電気的なものがあります。
- ・ ケーブル長はどのくらい必要か？
 - ・ 外部補強ケーブルは必要か？

- ・ ケーブルは何度の温度にさらされるか？
- ・ センサーに飛沫防止コネクタは必要か？
- ・ ほかにどのような機器が使用されるか
- ・ 電源供給はどのくらい必要か？

センサーについての主な知識

センサーを理解する上で主要となる2つのパラメーターは感度と周波数範囲です。一般的には多くの高周波数用センサーは感度が低くなっており、その反対に多くの高感度センサーは低い周波数範囲をもっています。よって、これら感度と周波数帯域の間で妥協点を見つける必要が出てきます。

感度範囲

産業用加速度計の対応範囲は一般的に10~100mV/g程度ですが、それよりも高い感度や低い感度も入手可能です。その用途に適した感度を選択するには、測定中にそのセンサーに与えられる振動の振幅を理解する必要があります。原則としては、測定ポイントにおいて機械が高い振幅の振動(10g rmsよりも大きい)を発生するならば、低感度センサー(10mV/g)が適しています。振動が10g rms以下であれば、100mV/gのセンサーが一般的には使われます。

どのような場合でも、ピーク g レベルはセンサーの加速度範囲を超えてはなりません。もしそうなるとアンプのオーバーロードが起こり信号が壊れ、結果エラー信号になります。

特定用途である、低周波数/低振幅測定などにはより高い感度の加速度センサーが使われます。一般的には、高い感度の加速度センサーは周波数の高さに限度があります。

圧電センサーのすぐれた特長のひとつとして、その広い操作範囲があります。その用途で予想される振幅が、ある程度センサーの操作範囲に落ち着くことを理解しなければなりません。

20mV/in/sec~500mV/in/secの感度をもつ速度センサーは入手可能ですが、ほとんどの用途では100mV/in/secの感度で事足りるといえるでしょう。

周波数範囲

圧電センサーの周波数範囲を選択するには、そ

の用途で必要となる周波数を決定することが重要です。その周波数は、同類のシステムや用途ですでに分かっている場合もありますし、プラント技術者がすでに対象となる周波数を算出するための情報をもっているかも知れません。場合によっては機械の周波数を知るには、機械に複数の試験センサーを付けてデータを評価することかも知れません。

センサーの高周波数範囲はセンサーの共振点に近づくことにより制限があります。また、低周波数範囲はアンプのロールオフ・フィルターにより制限されますが、これは図2に書かれている通りです。多くのセンサー用アンプは共振振幅を減衰させるために、高い方の周波数帯にフィルターをかけており、このことにより操作範囲が広げられ、かつ電氣的歪を低減しています。

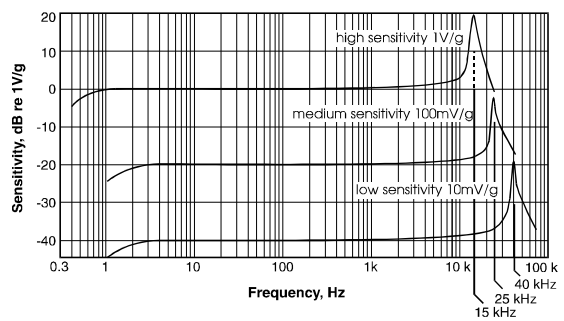


図2 Figure 2. Typical Frequency Response Curves for Various Sensitivities

産業機械におけるほとんどの振動は100Hz (60,000rpm) 以下ですが、しかし高周波数においてもしばしば信号要素があります。

例えば、回転シャフトの回転スピードが分かっても、最も高い周波数は、その対象物の回転スピードそのものと、シャフトを支えるいくつかのベアリングによる複合的なものである場合があります。そのためユーザーは、感度と振幅範囲の要求を理解しつつ、高周波数の要求を決めてセンサーを選択しなければなりません。

注) 低周波数帯のセンサーは電氣的ノイズが低くなる傾向をもっています。より低いノイズはセンサーのダイナミックレンジにより増加しますが、場合によってはその用途では高周波数を測定することよりも重要になることもあります。

使用環境

温度範囲

温度による感度の変化が測定において許容範囲であることが必要です。温度伝播（高温エアまたはオイル飛沫）により金属ケースの膨張を引き起こし、これにより低周波数 (<5Hz) での測定でエラー信号になることがあります。これらのエラーを回避するためには熱的アイソレーションを使用すべきです。

湿度

ウィルコクソン振動センサーはすべて高温と水分の浸入を防ぐためシールドされています。また、湿度や水分が高い環境用のケーブルコネクタやジャケットもあります。

高振幅振動シグナル

センサーを使用する環境として、センサーの信号範囲が対象物の振動振幅をカバーすることだけでなく、測定のポイントにおける最も高い振動レベルもカバーする必要があります。センサーの振幅幅を超えてしまうと、センサーの操作周波数レンジ全般において信号が歪んでしまいます。

危険な環境下での使用

本質安全防爆としての振動センサーは、可燃性ガス、蒸気、または可燃性粉塵などが存在する場所で使用されます。この本質安全防爆の電気機器に対する要求事項として、通常または非通常の状態でも電氣的かつ熱的エネルギーが爆発性雰囲気を引き起こさない範囲に抑える必要があります。燃料が雰囲気に混ざり非常に危険な状態にあっても、本質安全防爆の振動センサーは点火をさせない設計になっています。このことにより、ウィルコクソン本質安全防爆センサーの使用により爆発の危険性を極端に減らすことが可能です。

電氣的仕様

アンブ内蔵の振動センサーの多くは、定電流DCで駆動させます。一般的な電源では18から30V、2から10mA用定電流ダイオード(図3参照)を使用します。ほかの方法での電源供給を使用する場合、センサーメーカーへの問い合わせが必要です。

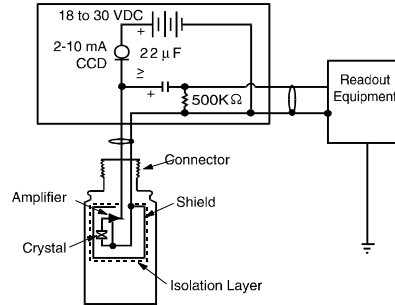


図3 Figure 3. Powering Schematic

ACカップリングとDCバイアス電圧

センサーの出力は、測定物への取付け場所における振動と比例したAC信号です。このAC信号はDCバイアス電圧と重なります（バイアス電圧または静止電圧ともいいます）。信号のDC成分はコンデンサーによりブロックされますが、しかしこのコンデンサーはモニターへAC出力を供給します。ほとんどの場合、モニターとセンサー電源は、ACカップリング用の内部ブロック用コンデンサーを組み込んでいます。

振幅範囲と供給電圧

センサーメーカーは通常、高い方のカットオフ電圧と低い方のカットオフ電圧の中心にバイアス電圧を設定します。（代表的にはグラウンドの2V上で最小供給電圧の2V下）このバイアス電圧とカットオフ電圧の違いは、センサーの出力での電圧スイングとして使用されますが、この出力電圧スイングは振動範囲のピークを決定します。（図4を参照）

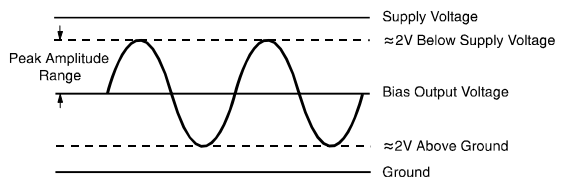


図4 Figure 4. Range of Linear Operation

100mV/gの感度をもつ加速度センサーと5Vのピーク出力スイングは50gピークの振幅をもつこととなります。

注) 電圧供給の高い方が使われた場合 (22VDC ~33VDC)、振幅範囲は100gピークまで伸ばせません。また、低い方が使われた場合、同様に振幅範囲は低くなります。より高い電圧供給または低い電圧供給用として特注のバイアス電圧も提供できます。

定電流ダイオード

2線内部アンプ型には定電流ダイオードが必要になりますが、ほとんどの場合同時供給のパワーユニットに含まれています。

一般的には、バッテリー供給の電源が2mAの定電流ダイオードを含んでおり、これによりバッテリーの超寿命化ができます。ラインで電源を供給する場合、(消費電力は問題にならない)、長いケーブルを使用する場合、6mAから10mAの定電流ダイオードを使用することをおすすめします。

100℃以上での操作ではアンプの放熱が問題になります。電流を6mA以下に抑えることが重要です。また、電源に定電流ダイオードがなければ、電源の電圧出力ヘリサイズでひとつ組み込む必要があります。

注) ダイオードの極性が正しいことを確認して下さい。ダイオードは以下のものが入手可能です。

モトローラ社：4mA、パーツ番号1N5312
シリコニクス社：J510

その他のタイプのセンサー

高温圧電振動センサー

760℃までの高温圧電振動センサーもあります。現在のところ、117℃を越えるセンサーではアンプ内蔵型はありません。

これより高温になるとセンサーは増幅できませんが(電荷出力)、電荷出力のセンサーはチャージアンプが必要となります。アンプの振幅範囲に応じて感度を選ぶ必要があります。

電荷出力型加速度センサーの出力はピコクーロン/gで、ケーブルの動きによるエラー信号を防ぐため特別なローノイズ、高温ケーブルと合わせて使用する必要があります。測定対象が5kHz以下で温度が180℃以下の場合、センサーを特別なサーマルアイソレーションに取り付けることをおすすめします。

ちなみに操作可能温度を上げるためのリサーチもウィルコクソンでは継続しています。

3軸センサー

産業界ではマルチ方向機械モニタリング用やバランスング用に3軸センサーが使われています。このデバイスには3つのセンサーがそれぞれ直交する形で組み込まれており、通常の1軸のセンサーよりも機械の診断に対してより多くの情報をもたらします。

3軸センサーはまた、3つの独立したセンサーをひとつずつ取り付けるよりも簡単です。

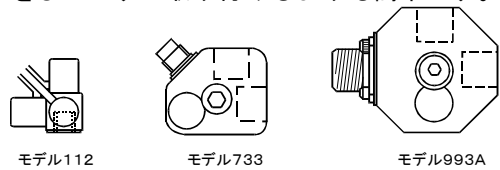


図5 三軸型加速度センサー

ハンドプローブ

ハンドプローブはハンドヘルドタイプのセンサーで、これも振動測定に用いられます。

取り付けを必要としないためにすぐ使用でき、機械診断には有効な手段といえます。

スタッドマウントに取り付けるタイプに比較すると周波数応答には制限がありますが、それでも十分効果的であり、またデータロガーと同時使用した場合非常に優れた装置となるため、振動診断や傾向モニタリングには最適です。

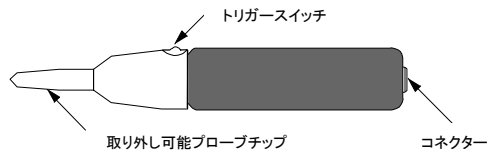


図6 モデル HA8 ハンドプローブ

まとめ

産業用振動センサーは機械の故障診断情報をもたらすものであり、生産性の向上、品質の確保、作業者の安全性などを確保するために使用されています。最適なセンサーを選択することにより信頼性の高い信号を得ることができます。このセレクトションガイドでは、産業用振動センサーを選ぶ際のいくつかのポイントについて述べました。

本説明書の目指すところは、振動モニタリングをより効率を上げ、その結果作業者や装置の生産性を上げることにあります。このあとに述べられているチェックリストは、適切なセンサー選びのための一助となると考えます。

センサーが選択されれば、プラント機械に取り付けられますが、取り付けにはテクニカルノートTN21を参照下さい。また、配線にはTN17を参照下さい。また、トラブル発生時にはテクニカルノートTN14を参照下さい。

センサーセクション チェックリスト

以下のチェックリストに記入することで、適切なセンサー選びのための参考にして下さい。記入後アプリケーションエンジニアが回答致します。

1) 振動測定の実用用途 :

業界

- パルプまたは製紙
- 石油化学
- 電力プラント
- 石油探査
- 鉱山関連
- ミリタリー
- 自動車
- 研究開発
- マイクロエレクトロニクス
- その他

具体的な用途をお書き下さい。

2) ダイナミック測定の実用要求

測定対象の振動振幅レベルはだいたいどの程度ですか？ _____ g peak、 _____ in/sec peak、 _____ mil peak

最大の振動振幅はどのレベルですか？ _____ g peak、 _____ in/sec peak、 _____ mil peak

最小の振動振幅はどのレベルですか？ _____ g peak、 _____ in/sec peak、 _____ mil peak

最大周波数は？ _____ Hz、 _____ RPM

最小周波数は？ _____ Hz、 _____ RPM

3) 機械的、化学的環境について

継続的環境温度範囲は _____ °C から _____ °C まで

断続的環境温度範囲は _____ °C _____ °C まで

環境湿度は？ _____ % Rh

何か加速度センサーに流体物は触れますか？

もし浸水するならば、殿程度の圧力ですか？

_____ psi

高振幅の機械的信号はありますか？（例えば水蒸気バルブリリース、ギアのなき、衝突など）

最も高いショックレベルは？ _____ g peak

化学品やガスが加速度センサーに触れますか？
具体的に記入下さい。

4) センサーの電気的要求および電気的環境

どのような電源が使用されますか？（18-30V、2-10mAを通常推奨）

製造メーカー名： _____

型番： _____

電圧ソース： _____

定電流ソース (mA) _____

ケーブル長はどのくらいで使用しますか？

長さ _____ m

ケーブルキャパシタンス _____ pF/ft

ケーブルは電磁波の影響を受けやすいところで使用しますか？具体的に記入して下さい。

機械はグラウンドされていますか？

はい いいえ

センサーは静電気が発生しやすいところで使用しますか？

5) センサーの要望

センサー出力は？ 加速度 速度 変位

物理デザイン： 1軸 3軸

リングシェア型 ハンドヘルド型

特別仕様： 温度出力 校正回路

その他 _____

ハウジング材： 316ステンレススティール

チタニウム その他 _____

要望する特性

軸感度 _____ mV/g

周波数帯はどこまで _____ Hz
 共振周波数 _____ kHz
 内部フィルターは、 _____
 最大許容重量 _____ グラム
 寸法：高 _____ mm × 長さ _____ mm
 幅 _____ mm

6) ケーブルの要望

電気的接続： 通常のコネクター
 コネクターの具体的な型番： _____
 飛沫防御プラグ
 一体型シールドケーブル

電気的接続の場所（センサーからの）：
 上部 側部

ケーブルのタイプ 同軸ケーブル 2コン
 ダクター型 デュアルシールド型
 その他 _____

その他ケーブルの要望：
 強度補強型ケーブル（ケーブル引っ張り強度は
 _____ g ケーブルシールド _____ %
 その他 _____

7) センサー取付けの要望

マウントタイプ： 取り外し可能スタッド
 一体型スタッド キャプティブボルトエポキシ
 マグネットベース
 ネジ穴径： 10-32 UNF 1/4-28 UNF
 その他 _____

7) その他具体的な要望があれば記入して下さい。

