

## 4章 振動の計測と制御

この章では以下の2つの事柄について講義する。

### 1. 振動を計測するセンサの原理 (サイズモ系)

センサ」というのは日本語の言い方,ピックアップ,トランスデューサ等言い方はさまざま。

### 2. 振動の制御についての原理 (受動制御, 能動制御)

能動制御の手法についてもさまざまなものがあり,ここではスカイフック制御という方法を使っている。他の手法については,自動制御等の授業にて勉強して下さい。

データ処理の基礎についても教科書にはまとめて書かれているので,興味があれば目を通しておくこと,データ処理に関してだけでも一冊の本が書ける分野である。

### 4.1 振動の計測

実際に運転している機械等の振動を測定して調和分析などをする場合に振動を測定する必要がある。この節では,振動の計測についてセンサの原理について述べる。

#### A. 何を計るか?

変位 速度 加速度 ひずみ 力 . . . 目的により多数

#### B. どうやって計るか?

接触 or 非接触 不動点利用 or サイズモ系  
接触しない方がよい レーザー振動計, 渦電流変位計 等  
不動点利用 (振動しない外部の点) は困難  
サイズモ系は簡便であるが付加質量として働く  
元の振動特性と違う (軽いことが望まれる)  
普通は測定するのは1点であるが, レーザースキャニング振動計という  
面全体を測定する装置もあるが 非常に高価

当たり前だが, 目的によりセンサを選択する必要がある。

最も用いられているのは, コスト, 簡便性から 圧電型加速度系 (加速度, サイズモ系) である。

長所: 安い (アンプを含めて安くても数万円はしますが他のものと比較してという意味), 取り扱いが簡単 (壊れにくい), 軽くできる (1g以下もある)。

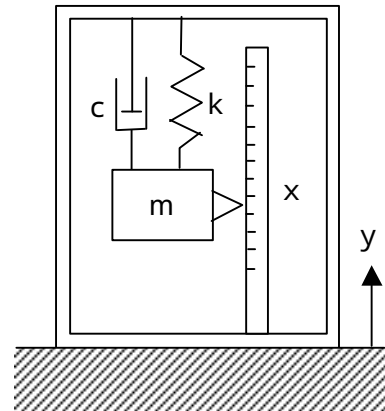
短所: 低周波は測定できない (サイズモ系の原理から考えて下さい), 付加質量として働くので測定対象に比べて重い時は補正が必要。

目には触れませんが, 最近のエンジンのノックセンサとして用いられているのが, みなさんには一番身近かもしれません。具体的な形は教科書 p 68 に図があります。

## 4.2 サイズモ系の原理

サイズモ系の原理は図4.1に示すように、センサ内部に外枠に取り付けられた振動系を持っている質量の変位を測定することである。

y : 測定したい振動  
 x : センサの出力として検出できる値  
 (測定対象とmの相対変位)



これから、運動方程式は

$$m(\ddot{x} + \ddot{y}) + c\dot{x} + kx = 0 \quad (4.1) \quad \text{図 4.1 サイズモ振動系}$$

測定対象が、 $y = Y \sin \omega t$  と振動しているとすれば、 $\ddot{y} = -\omega^2 Y \sin \omega t$  であるから、

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = m\omega^2 Y \sin \omega t \quad (4.2)$$

である。これを両辺mで割って整理する。

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2 x = \omega^2 Y \sin \omega t \quad (4.3)$$

式(4.3)は2章の減衰のある強制振動を参考にすると、

$$\begin{aligned} x &= X \sin(\omega t - \phi) \\ &= \frac{(\omega/\omega_n)^2}{\sqrt{\{1 - (\omega/\omega_n)^2\}^2 + \{2\zeta(\omega/\omega_n)\}^2}} Y \sin(\omega t - \phi) \\ \phi &= \tan^{-1} \frac{2\zeta(\omega/\omega_n)}{1 - (\omega/\omega_n)^2} \end{aligned} \quad (4.4)$$

となるので、振幅Xを変形すると

$$X = \frac{Y}{\sqrt{\left\{1 - \frac{1}{(\omega/\omega_n)^2}\right\}^2 + \left\{2\zeta \frac{1}{(\omega/\omega_n)^2}\right\}^2}} \quad (4.5)$$

このXとYの関係から、振動測定が可能になる。

## 変位の測定

式(4.5)において、 $\omega/\omega_n \gg 1$  (すなわち、内部の振動系の固有振動数が測定する振動数に比べて非常に小さい) のとき、 $X \approx Y, \phi \approx 180^\circ$  である。

「相対変位  $x$  を測定すれば測定対象の変位  $y$  がわかる。」

## 加速度の測定

$$\begin{aligned} x &= \left[ -\frac{1}{\omega_n^2 \sqrt{\{1 - (\omega/\omega_n)^2\}^2 + \{2\zeta(\omega/\omega_n)\}^2}} \right] \cdot (-\omega^2) Y \sin(\omega t - \phi) \\ &= \left[ -\frac{1}{\omega_n^2 \sqrt{\{1 - (\omega/\omega_n)^2\}^2 + \{2\zeta(\omega/\omega_n)\}^2}} \right] \ddot{y} \end{aligned} \quad (4.7)$$

式(4.7)において  $\omega/\omega_n \ll 1$  のとき、 $x \approx -\frac{\ddot{y}}{\omega_n^2}$ 、 $\phi \approx 0^\circ$  である。すなわち

$\ddot{y} \approx -\omega_n^2 x$  であることがわかる。

上式のように同じサイズモ系でも、測定対象の振動数と、サイズモ系内部の振動系の固有振動数の大きさから、変位または加速度が測定できることがわかる。

サイズモ系は振動測定の際に付加質量として働くので、質量  $m$  についてはできるだけ小さくしたいという希望がある。そこで、変位を測定するときはバネを柔らかいものにする必要がある。逆に加速度を測定するときにはバネを硬くする必要がある。このことから、サイズモ系で変位を測定する場合は非常に柔らかいバネを使用する必要があるので、結果として壊れやすいセンサになってしまう。加速度計の場合は硬くできるので、バネとして水晶(圧電素子として働く)や圧電セラミック(チタン酸バリウム)などを用いることができる。これらは、単にセンサ基礎と質量の間に固体を挟むだけなので非常に丈夫である。反面、低周波では質量による慣性力はほとんど働かないので、測定できない欠点がある。このことは、周波数の範囲がより低い場合(直流)には変位を測定する場合も同様の現象がおこる。

そのほかに、動電型、ひずみ計型、サーボ型など種々の形式のセンサがある。

圧電素子：圧力などによりひずみを生じると圧力に比例した起電力を生じる素子

チャージアンプ：圧電素子を用いて測定する場合、起電力をセンサ出力の電圧に変換する必要がある。圧電素子の起電力は電荷であり、通常のアンプでは電圧に変換できない。すなわち、加速度計を用いる場合、電荷を電圧に変換する特別なアンプ(チャージアンプ)が必要になる。