

ザ・振動計

振動計を有効に使って頂くために

ザ・振動計

- なぜ振動を計るのか？ 3
- 振動トラブルは「共振現象」 6
- 「強制振動」と「自励振動」 7
- 「振動測定」から「振動対策」 8
- 振動測定に必要な基礎知識 9
- さあ 最適な振動計を 探してみましよう 21
- 望ましい振動計とは 22
- 望ましい振動計 24

なぜ振動を計るのか？

機械設備の健康維持管理のために

機械設備の状態に問題⇒まず「振動の変化」が現われます。
「振動」は機械設備の「体温」、「血圧」のようなもの…です。

機械設備の健康状態が悪化すると

◆事故, ◆利益機会の逸失, ◆修理コストとロス時間の発生
⇒ 莫大な損失, 信用失墜, 人身事故

不具合の早期発見は, 科学的な管理で可能です。

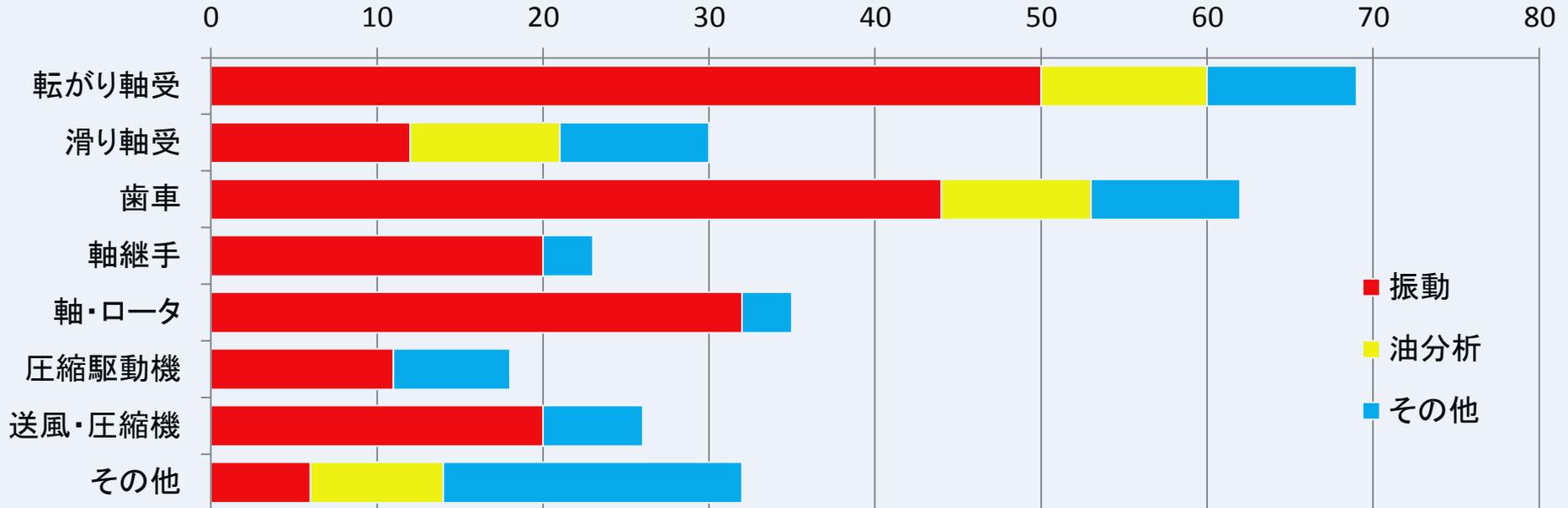
さまざまな不具合と振動変化との相関が確認されています。
⇒振動計による「簡易診断法」, 「精密診断法」が有効です。

手遅れになる前に振動計を有効にお使いください。

なぜ振動を計るのか？

- ◆ 機械の状態変化に対する振動変化の感度が高い。
- ◆ 振動の検出・測定は比較的安価で容易。
- ◆ 振動にはさまざまな情報が含まれており、適切な解析により的確な診断・対処が可能。早期発見の可能性が高い。

振動による診断の実績(日本鉄鋼協会)



なぜ振動を計るのか？

機械の中では、さまざまな部品が運動しています（振動源）。

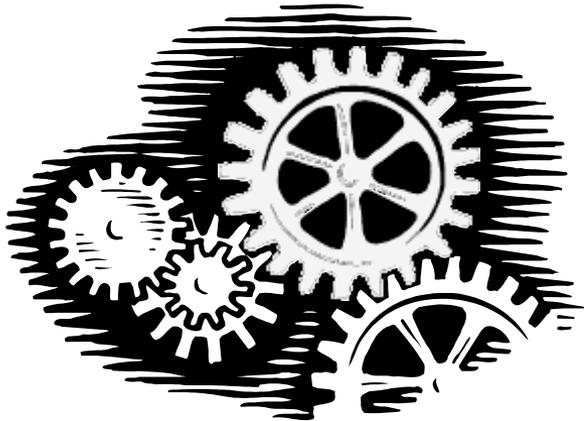
振動源の主なものは：部品の往復運動，回転運動，不釣合い，流体や気体の流れ，転がり，滑り，すきま・ガタ，等々

機械に振動はつきもの・・・許容値を超えるとトラブル

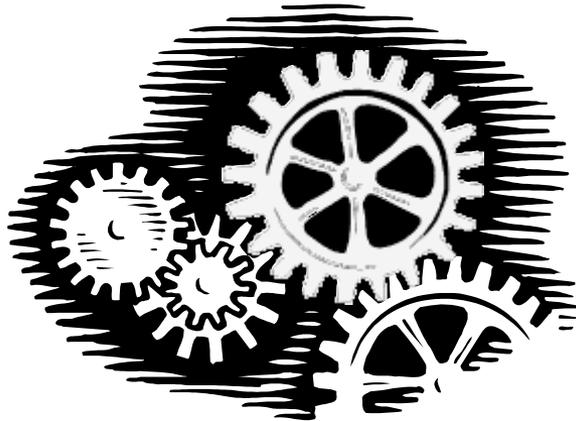
許容値を超えないよう維持する。

許容値を超えたものは許容値以内に抑える。

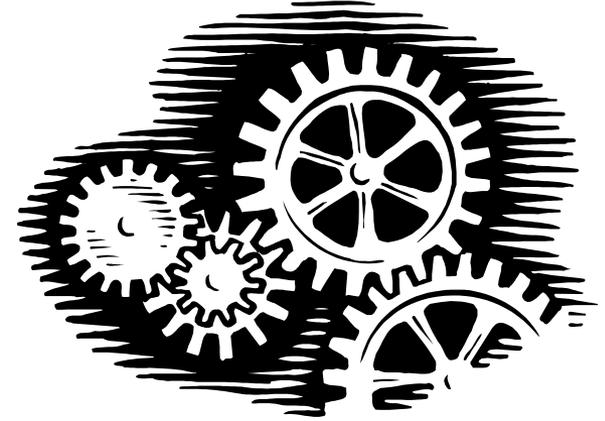
振動測定が
不可欠



Good!



Caution! Need maintenance



NG Dangerous!

振動トラブルは「共振現象」

振動トラブルの多くは、「共振現象」です。

共振現象を引き起こす原因は「強制振動」か「自励振動」。

強制振動と自励振動では、対策方法が異なる。

「共振現象」とは、

特定の振動数の振動だけが強調する現象。

特定の振動数＝「固有振動数」＝その物特有の特性値

「固有振動数」とは、

構造物をハンマーなどでたたいたときに起きる

振動（自由振動）の振動数。

どのような構造物でも（複数の）

固有振動数が必ず存在する。

固有振動数	高い	低い
剛性	高い	低い
質量	軽い	重い

「強制振動」と「自励振動」

	強制振動	自励振動
振動発生メカ	周期的な力により起きる振動	一定の力・運動で起きる振動
事例	携帯の「ブルブル」 ＝不釣合い振動	一定の風ではためく旗
	エンジンの振動(周期的な爆発 燃焼)	一定速の弓により弦が振動 (バイオリン)
主たる振動数	強制力の振動数	固有振動数
現象の特徴	回転数を変えると振動数も変わる	運転条件を変えても振動数は 変わらない
	運転条件を変えると状態も連 続的に変化する	運転条件を変えると突然 振幅 が大きく変化する
主な対策例	強制力を小さくする 【例】釣合わせ・バラシング	減衰要素を付加する
	強制力の振動数と固有振動数 をできるだけ離す	固有振動数を変える(構造・剛 性・質量・材質などを変える)

「振動測定」から「振動対策」

振動測定

- ⇒ 振動の大きさを数値で把握する
- ⇒ 振動の大きさ(変化)から対策が必要かの判断
- ⇒ 一般的な振動計

対策が必要な場合

- ⇒ 振動数成分など情報を得る
- ⇒ 「強制振動」か「自励振動」かの判断
- ⇒ 高機能振動計

対策の実施(例)

- ⇒ 強制振動で強制力が不釣り合いの場合
- ⇒ 専用測定器・フィールドバランサ

振動測定に必要な基礎知識

振動を数値で表す

最も単純な振動⇒振り子の運動⇒単振動

単振動は⇒振動数と振幅で表すことができる。

振動数と振幅

振動数は1秒間に往復する回数⇒単位はHz(ヘルツ)

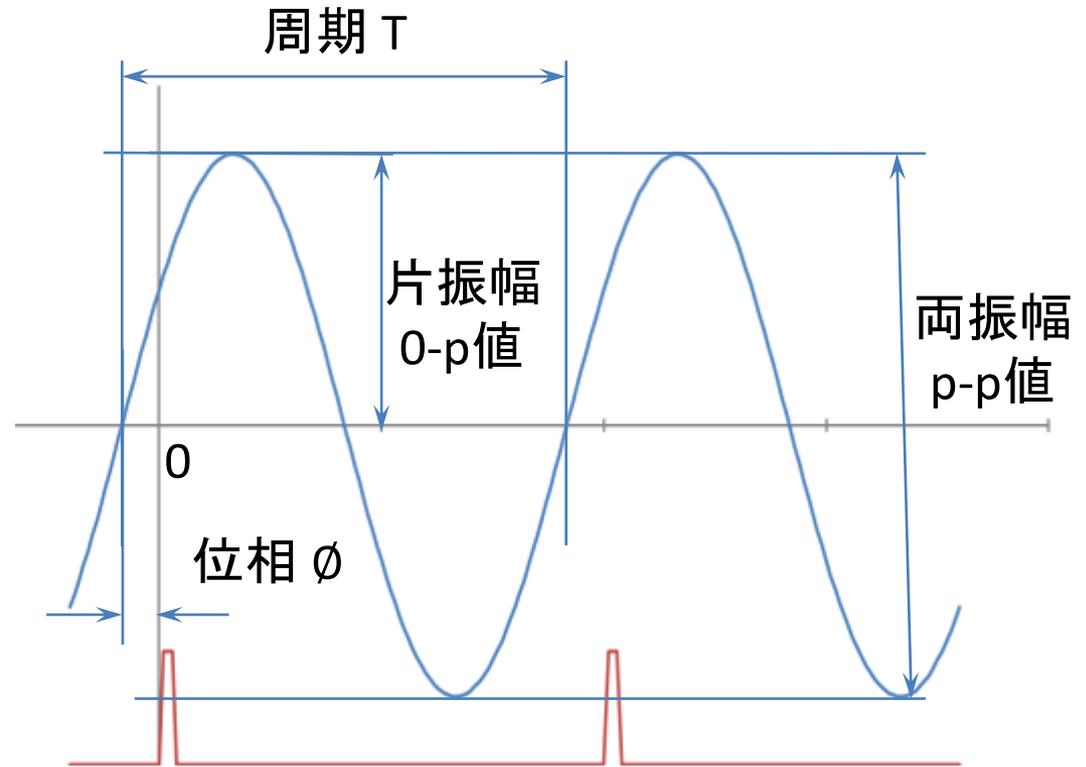
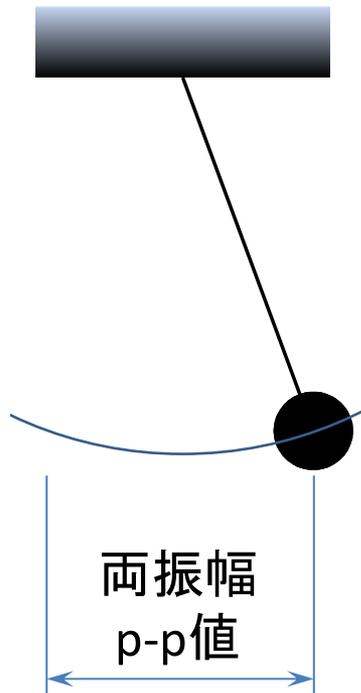
振幅は振れの幅⇒長さで表すとき「変位」⇒単位は μm

運動の大きさを表すには、変位その他、速度、加速度がある。

(後述)

振動測定に必要な基礎知識

単振動



振動数 $[f]$: 1秒間に繰り返される周期の数 $[Hz]$ $f = \frac{1}{T}$

振動測定に必要な基礎知識

振幅の物理量(変位・速度・加速度): 振動の大きさの尺度

変位・・・変形の大きさ

工作機械の刃物・ワークの(相対)変位; 超精密加工の分野
軸の軸受内での接触の有無

長周期振動: 高層ビルや吊り橋の振動など

速度・・・運動の激しさ・運動量 = 質量 × 速度

振動による機械・構造の被害との相関が高い。

機械の振動評価(JIS, ISO規格)は速度の大きさ

加速度・・・振動を励起する力 = 質量 × 加速度

動きよりも力が問題となる場合(高周波振動・音響振動など)

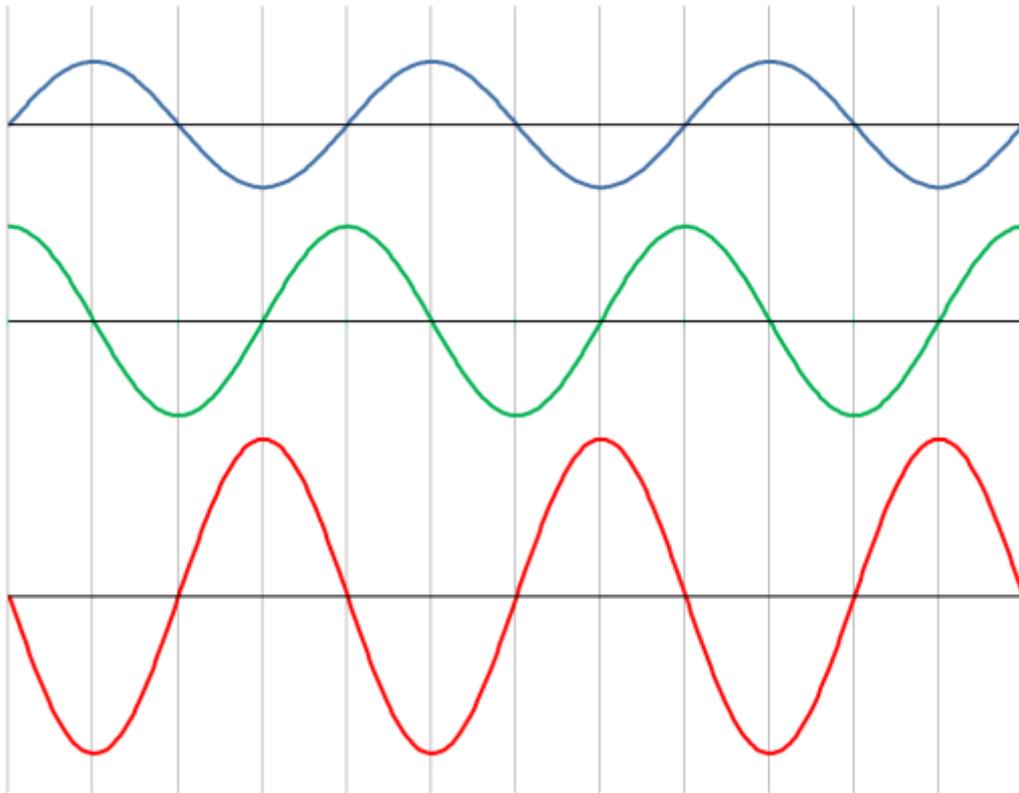
地震動により建造物に加わる力の評価

振動測定に必要な基礎知識

変位・速度・加速度の関係

振動数 f (Hz)

角振動数 $\omega = 2\pi f$ (rad/s)



変位 : $x = A \sin(\omega t + \phi)$

速度 : $v = \frac{dx}{dt}$
 $= A\omega \cos(\omega t + \phi)$

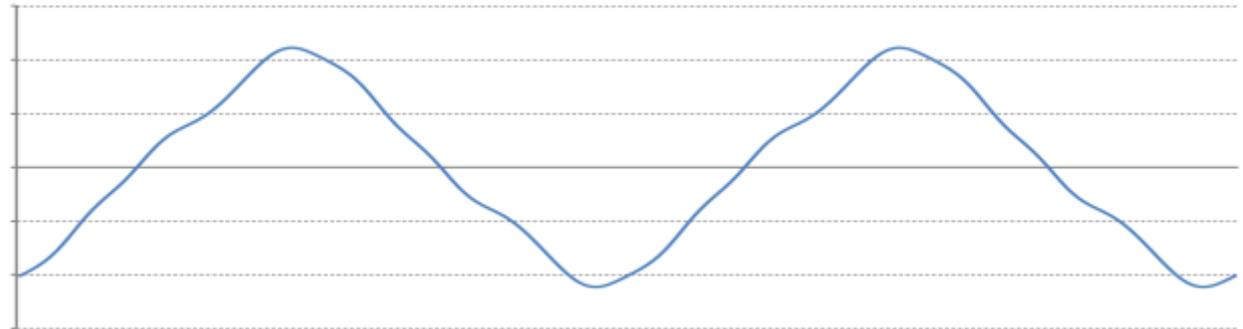
加速度 : $\alpha = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$
 $= -A\omega^2 \sin(\omega t + \phi)$

振動測定に必要な基礎知識

同じ振動でも波形が違う！

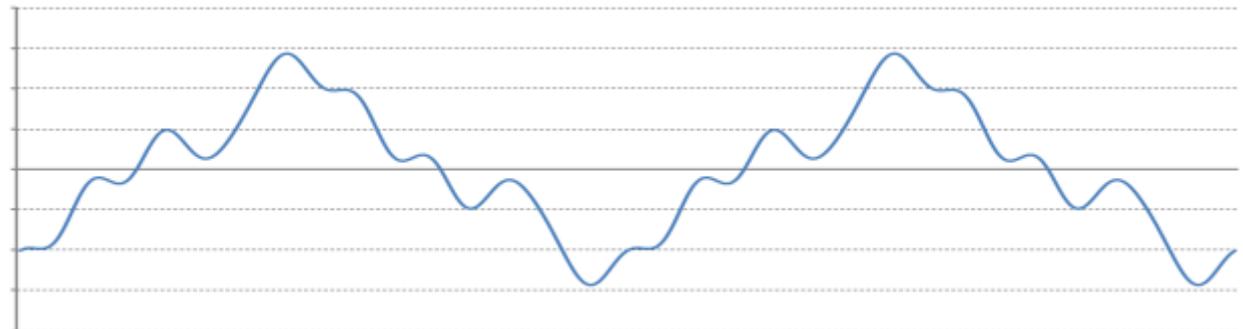
変位波形

- 基本波: 1
- 3倍高調波: 0.1
- 5倍高調波: 0.03
- 7倍高調波: 0.02
- 9倍高調波: 0.01



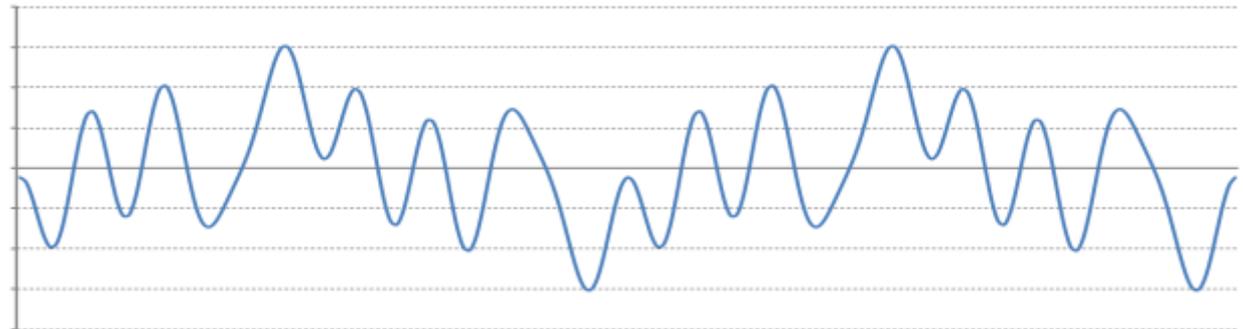
速度波形

- 基本波: 1
- 3倍高調波: 0.3
- 5倍高調波: 0.15
- 7倍高調波: 0.14
- 9倍高調波: 0.09



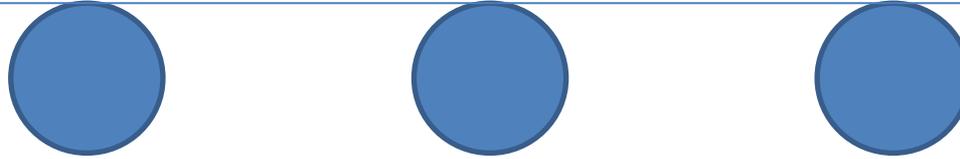
加速度波形

- 基本波: 1
- 3倍高調波: 0.9
- 5倍高調波: 0.75
- 7倍高調波: 0.98
- 9倍高調波: 0.81



振動測定に必要な基礎知識

「振幅」は同じでも…

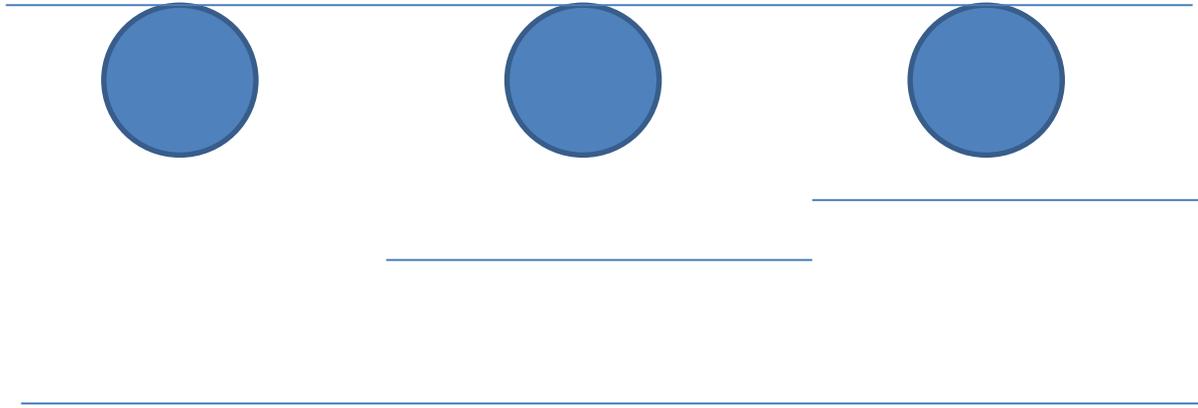


この3つの「変位の振幅」(振れ幅)は同じですが、
振動の強さは違う。振動数が違っています。

⇒振幅(変位)だけで振動の程度を表すことはできません。

「変位」の外に「速度」, 「加速度」で評価すると…?

振動測定に必要な基礎知識



この3つの振動は、どれも同じ速度。

速度は、振動の持っている運動量に比例しているので、3つの運動量は同等です。運動の激しさは同等と考えられる。

⇒機械振動は、速度値で評価するのがよいとされている。

振動測定に必要な基礎知識

「複雑な波形」の振動の大きさの表し方

振動の大きさを表現するための値には
ピーク値, 整流波の平均値, 実効値など
がある。

実効値が物理量として最も合理的

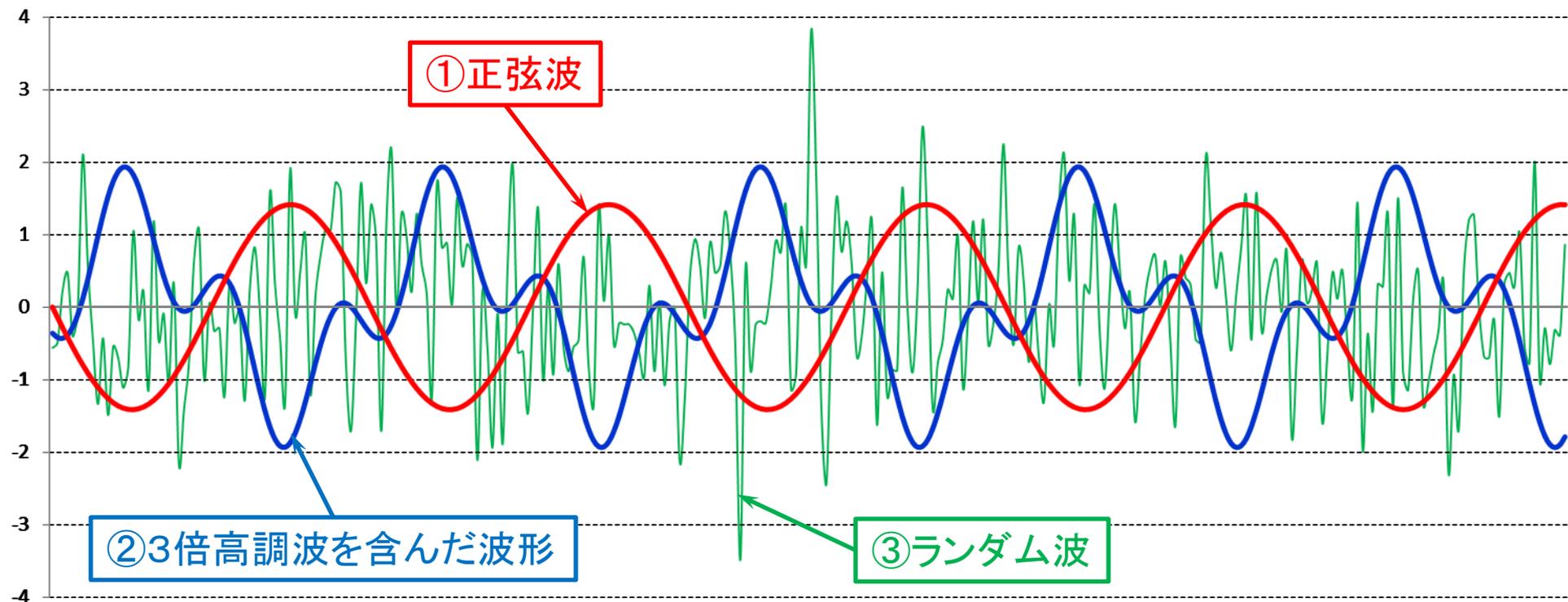
電熱器で湯を沸かすときの交流電力;
直流電圧に相当する交流電圧を実効
値(rms値)と言います。

実効値(rms値)は波形の二乗の平均値の平方根。
正弦波のときは, 0-p値の $1/\sqrt{2}$ 倍です。

波高率(CF) = ピーク値/実効値(波形の特徴を表す値)
転がり軸受の劣化を発見するのに有用(傾向を監視)



振動測定に必要な基礎知識



同じ実効値の3つの波形。①正弦波，②歪み波，③ランダム波
真の実効値演算の振動計ではいずれも「1.00」と指示。

【注意】 整流・平均式の振動計(旧式のアナログ式など)では、
①赤色波形は「1.00」、②青色は「1.16」、③緑色は「1.25」を指示。

振動測定に必要な基礎知識

複雑な波形の振動の大きさの表し方＝**実効値が最も合理的**

同じ振動を何種類かの振動計で測定すると、それぞれ違った値を指示することがあります。その原因は？

- ①振動センサの周波数特性, ②交流・直流変換方式
- ③加速度から速度・変位の変換方式 の違いによる。

		正弦波 振動	歪み波 振動	ランダ ム振動	備考
振動センサの周波数特性		測定対象の振動に合わせる			
交流・直流変換	整流平均	○	×	×	安価
	真の実効値	◎	◎	◎	最適
加速度・速度 加速度・変位 変換	アナログ積分	○	△	△	安価
	時間領域積分	○	△	○	設定が難
	周波数領域変換	◎	◎	◎	最適

振動が正弦波であれば、どの方式でも大差はないが、実際の振動が正弦波であることはまれです。

振動測定に必要な基礎知識

複雑な波形の振動について、

単振動は一つの正弦関数 $A \sin(2\pi ft + \phi)$ で表されるが、
複雑な波形の振動は・・・

複数の振動数の正弦波の和で表される。式で書くと

$$\begin{aligned} X(t) &= A_1 \sin(2\pi f_1 t + \phi_1) + A_2 \sin[2\pi f_2 t + \phi_2] + \dots \\ &= \sum_n A_n \sin(2\pi f_n t + \phi_n) \end{aligned}$$

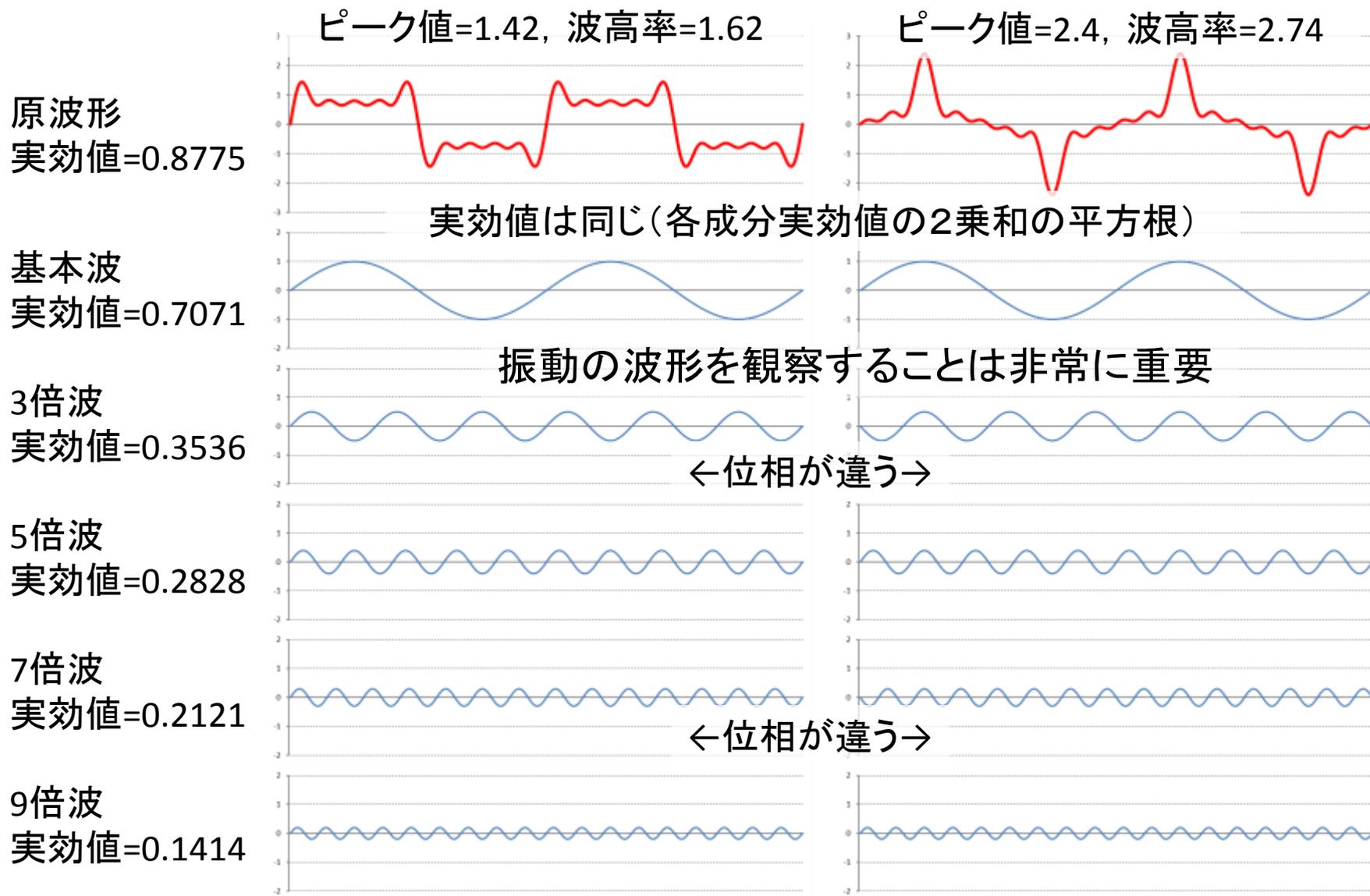
FFT(高速フーリエ変換)を使うと: 周波数の分布を調べることができる。
⇒上の式の A_1, A_2, \dots, A_n を求めることができる。

⇒周波数分析(スペクトル解析)

注意: A_1, A_2, \dots, A_n が同じでも, $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$ が違うと
波形は全く違ったものになる。

振動測定に必要な基礎知識

高調波の振幅が同じでも、位相が変わるだけで波形は大きく変化する。



さあ

最適な振動計を
探してみましよう

望ましい振動計とは

機械の振動評価のための振動計に必要な基本仕様

項目		望ましい仕様・方式
入力チャンネル数		1ch, 記録・保存が容易であれば1chで十分
振動センサ		圧電型加速度計(電荷出力), 信頼性が高く扱い易い
測定対象		加速度・速度・変位 同時に表示できることが望ましい
表示値	加速度	実効値, ピーク値0-p値, 波高率
	速度	実効値(JIS, ISO規格準拠)
	変位	等価ピーク値p-p値, 実効値
測定範囲	加速度	最大 20m/s^2 程度; 機械振動では 10m/s^2 を超えることはまれ
	速度	最大 100mm/s 程度; 20mm/s を超える振動は危険領域
	変位	最大 $2000\mu\text{m}$ 程度
振動数		機械振動: $10\text{Hz} \sim 1\text{kHz}$, 転がり軸受の評価: 20kHz 程度
内部演算方式		真の実効値演算方式
		周波数領域での加速度 \Rightarrow 速度, 加速度 \Rightarrow 変位変換方式

望ましい振動計とは

使い勝手がよくなる「あると便利な機能」

測定日付・時刻	時計・カレンダーを内蔵し、測定日付・時刻が表示される。測定後のデータ整理が容易
グラフィック表示	カラー液晶・タッチパネル操作 操作に迷わない画面構成
表示画面の保存	画面に満載された情報がそのまま残せる
測定値の推移表示	測定値の時間的変化がグラフで見える 表示値が変動しているとき有用
データ保存	メモ리카ード(Micro SD), USB通信
バッテリー駆動	Li-ION電池内蔵, ACアダプタはAC100~240V に対応, 世界中どこでも使える

望ましい振動計

これらの機能を全て満足する振動計

ハイグレードタイプ
VM-1001H

スタンダードタイプ
VM-1001S



シグマ電子工業のVM-1001シリーズ登場！

望ましい振動計

必要な基本性能を満足するベーシックな振動計

スタンダードタイプ
VM-1001S





望ましい振動計

VM-1001S

VM-1001H

必要な基本性能を満足するベーシックな振動計

VM-1001シリーズ仕様 (VM-1001S, VM-1001H共通)

振動入力チャンネル		1 ch
振動センサ		圧電型加速度ピックアップ: 形式P10T, 感度: 10 pC/m/s ²
測定範囲	加速度	0.1 ~ 40 m/s ² (実効値, ピーク値0-p, 波高率)
	速度	0.1 ~ 200 mm/s (実効値)
	変位	1.0 ~ 5000 μm (等価ピーク値p-p, 実効値)
測定振動数範囲	加速度	10 Hz ~ 20 kHz
	速度	10 Hz ~ 1 kHz (JIS B 0907-1989相当)
	変位	10 Hz ~ 1 kHz
データ保存		マイクロSDカード, USB通信
表示器		3.5インチカラー液晶タッチパネル
寸法 / 質量		180 mm(W), 45 mm(D), 100 mm(H) / 350 g



望ましい振動計

VM-1001S

VM-1001H

必要な基本性能を満足するベーシックな振動計

3.5インチカラー液晶タッチパネル

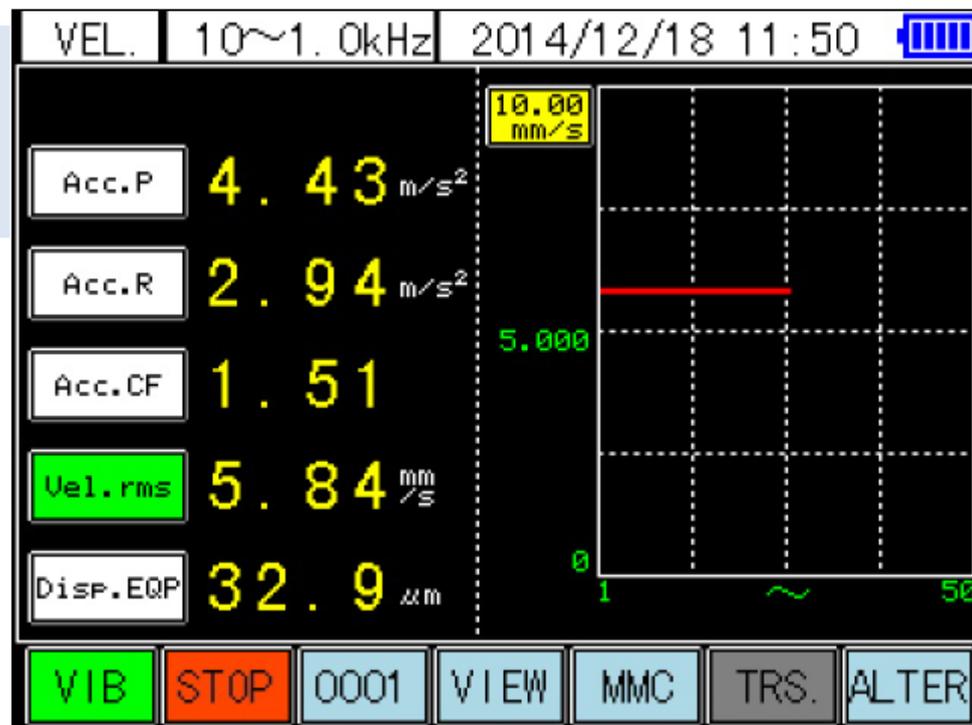
測定日・時刻が表示

リチウムイオン電池内蔵

加速度(実効値, 0-p値, 波高率)
速度(実効値), 変位(p-p値)
が同時に表示される。



マイクロSDカード, USB
を標準装備



測定値, 測定画面の保存機能を装備

測定値の時間推移グラフを表示

望ましい振動計

測定に加えて
高度な解析のハイグレードタイプ

ハイグレードタイプ
VM-1001H



ハイグレードタイプ
VM-1001H

望ましい振動計

VM-1001H

測定に加えてより高度な測定・解析のために

ハイグレードタイプ: VM-1001H(基本仕様は共通)

振動計モード	加速度	単位: m/s^2 , 実効値, ピーク0-p値, 波高率
	速度	単位: mm/s, 実効値
	変位	単位: μm , ピークp-p値
FFTモード (周波数分析)	分析内容	スペクトル, 加速度包絡線, 軸受診断
	測定データ種類	加速度, 速度, 変位, 包絡線
	サンプリング数	64, 128, 256, 512, 1024, 2048
	分析周波数(Hz)	200, 500, 1k, 2k, 5k, 10k, 20k
	窓関数	ハニング, レクタングュラ, フラットトップ
時間波形モード (波形観測)	分析周波数(Hz)	200, 500, 1k, 2k, 5k, 10k, 20k
	ライン数	25, 50, 100, 200, 400, 800

ハイグレードタイプ
VM-1001H

望ましい振動計とは

VM-1001H

測定に加えて
高度な解析のハイグレードタイプ
振動数分析機能:FFTモード

マイクロSDカードに
測定データ・表示画面を
保存

USBにより
測定データをPCへ送信

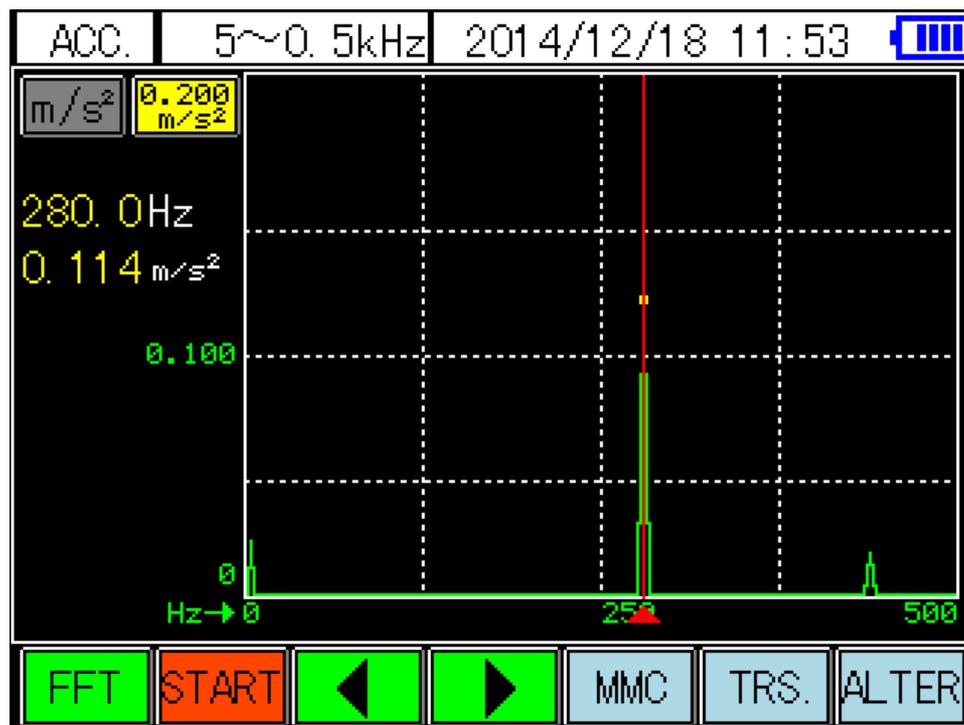
周波数軸のカーソルにより
卓越振動数を直読

目的に合った窓関数が
選択できる

周波数軸:フルスケール200Hz~20kHz

測定日・時刻を表示

リチウムイオン電池内蔵



最大スペクトル本数:800

ハイグレードタイプ
VM-1001H

望ましい振動計とは

VM-1001H

測定に加えて
高度な解析のハイグレードタイプ
波形観測: 時間波形モード

測定日・時刻を表示

リチウムイオン電池内蔵

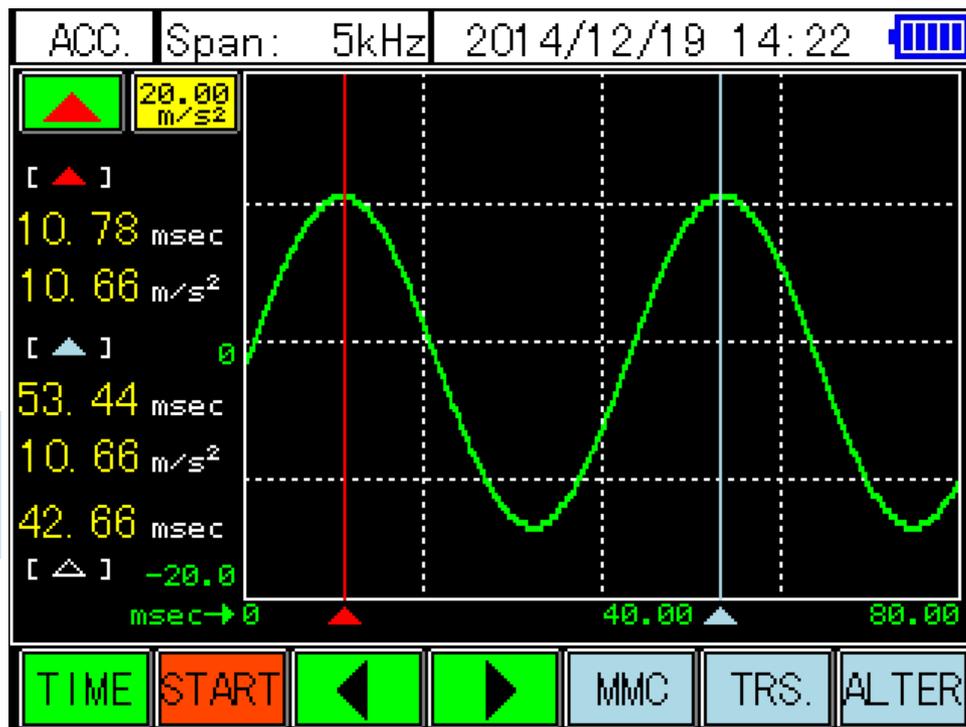
マイクロSDカードに
測定データ・表示画面を
保存

USBにより
測定データをPCへ送信

2本時間軸のカーソルにより
波形の周期を直読

時間軸FS: $800/f(\text{Hz})$ (秒)

周波数レンジ: 200Hz~20kHz



ハイグレードタイプ
VM-1001H

望ましい振動計

VM-1001H

測定に加えて
高度な解析のハイグレードタイプ

軸受診断モード

転がり軸受の諸元を入力すると、欠陥の場所による振動数がFFT画面に色分けされたマーカで表示されます。

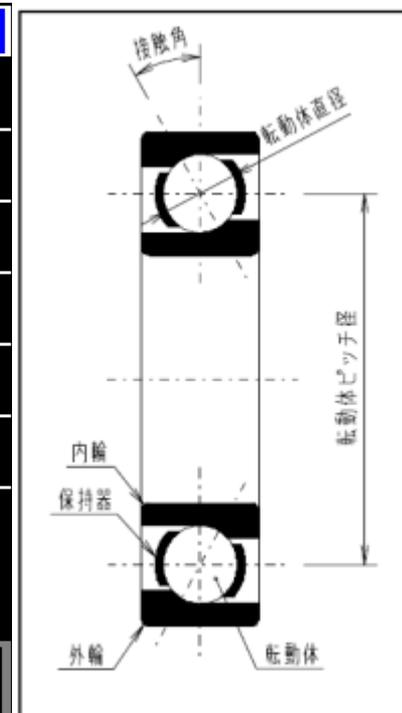
マーカ色と
想定欠陥位置

- 外輪: 青色
- 内輪: 灰色
- 保持器: 紫色
- 転動体: 橙色

FFT及び軸受診断機能の設定項目です 

解説	軸受診断表示	有効	無効
解説	測定回転数	1200	min ⁻¹
解説	接触角	30	
解説	転動体数	10	
解説	ピッチ径	10.00	
解説	転動体直径	10.00	

設定復元 設定完了



電荷出力型加速度センサ

型 式

P10S

汎用・サイドコネクタ

P10T

汎用・トップコネクタ

P35S

超高感度・サイドコネクタ

P05T

ワイドレンジ・トップコネクタ

P10W

防水・サイドコネクタ



低価格で幅広い用途にご利用いただける、弊社フィールドバランスの標準振動センサです。



低価格で幅広い用途にご利用いただけます。



微弱な振動も計測することができます。



大きな加速度の振動も計測することができます。



専用のケーブルを使用することで、JIS C 0920 IPX7準拠の防水性を発揮します。

特 徴

電荷感度	10pC/(m/s ²) ±10%	10pC/(m/s ²) ±10%	35pC/(m/s ²) ±10%	5pC/(m/s ²) ±10%	10pC/(m/s ²) ±10%
共振周波数	約23kHz	約25kHz	約14kHz	約32kHz	約35kHz
周波数範囲*	fc ~ 5kHz ±1dB	fc ~ 5kHz ±1dB	fc ~ 3.5kHz ±1dB	fc ~ 8kHz ±1dB	fc ~ 5kHz ±1dB
	fc ~ 10kHz ±3dB	fc ~ 7kHz ±3dB	fc ~ 5kHz ±3dB	fc ~ 12kHz ±3dB	—
最大使用加速度	10000m/s ²	10000m/s ²	1250m/s ²	16000m/s ²	10000m/s ²
耐衝撃性	10000m/s ²	15000m/s ²	2500m/s ²	20000m/s ²	—
使用温度範囲	-20 ~ +140℃	-20 ~ +120℃	-20 ~ +120℃	-40 ~ +150℃	-20 ~ +80℃
静電容量	1000pF ±20%	1000pF ±20%	1500pF ±20%	1000pF ±20%	4000pF ±20%
絶縁抵抗	10000MΩ以上	10000MΩ以上	10000MΩ以上	10000MΩ以上	10000MΩ以上
最大換感度	5%以下	5%以下	5%以下	5%以下	5%以下
グラウンド	ケース	ケース	ケース	ケース	ケースと信号間絶縁
検出構造	圧電・圧縮	圧電・圧縮	圧電・シエア	圧電・圧縮	圧電・圧縮
外形寸法	14(Hex)×32(H)mm	14(Hex)×31.5(H)mm	24(Hex)×30(H)mm	14(Hex)×25.5(H)mm	24(Hex)×26(H)mm
質量	約36g	約35g	約100g	約25g	約90g
ケース材質	ステンレス(SUS303)	ステンレス(SUS303)	ステンレス(SUS303)	ステンレス(SUS303)	ステンレス(SUS303)
コネクタ	ミニチュアコネクタ	ミニチュアコネクタ	ミニチュアコネクタ	ミニチュアコネクタ	防水・絶縁コネクタ(Z126)
	ネジ10-32UNF	ネジ10-32UNF	ネジ10-32UNF	ネジ10-32UNF	—
取付ネジ	M6×1×5mm メネジ	M6×1×5mm メネジ	M6×1×5mm メネジ	M6×1×5mm メネジ	M6×1×5mm メネジ
付属品	M6×1×10mm 止メネジ	M6×1×10mm 止メネジ	M6×1×10mm 止メネジ	M6×1×10mm 止メネジ	M6×1×10mm 止メネジ
	1個付 本体取付	1個付 本体取付	1個付 本体取付	1個付 本体取付	1個付 本体取付