

仙台市/仙台市産業振興事業団

ロボット博士の基礎からのメカトロニクスセミナー

C15/Rev 1.0

第15回

メカトロ開発のための 測定器の使い方の基礎

仙台市地域連携フェロー

熊谷 正 朗

kumagai@tjcc.tohoku-gakuin.ac.jp

東北学院大学工学部
ロボット開発工学研究室

RDE

今回の目的

○ メカトロのための測定器

テーマ1：イントロダクション

- ・ 測定器の重要性

テーマ2：電子回路系の測定器

- ・ テスタ
- ・ オシロスコープ

テーマ3：メカ系の測定器

- ・ フォースゲージ（力測定）
- ・ 高速度デジタルカメラ

イントロダクション

○ 測定器の重要性 @開発

◇意図したとおりに動いているか確認

- ・主に、電気・電子回路部分。
- ・全体的な動作は、制御ソフトウェアのデータの検証でかなりのことができる。

=ソフトに入る前の部分

回路類、メカ(運動や振動)

- ・「現象を見られること」が第一条件。

イントロダクション

○ 測定器の重要性 @製品調整

◇意図した性能を出すための測定

- ・計測装置などの校正
- ・制御システム内のセンサの校正
- ・意図した性能が出ているかの品質保証
- ・「対象よりも高性能・高精度」が重要。

イントロダクション

○ 測定器の重要性 @分析

◇開発とは関係なく業務で使用

- ・ 目的に応じた測定器の調達

例) 重量計、放射線量測定器

- ・ 結果に求められる精度、運用

◇感覚/直感を裏付けるため

- ・ 説明するのに十分な(ほどほど)の機能と性能

イントロダクション

○ 測定器の重要性 @今回

◇「メカトロ開発のための」

- ・「思った通りの動作をしているか」を検証。
- ・現象を確認することを最優先
＝ 精度にはこだわらない
が、機能にはこだわる。
- ・実際に実験室で活用しているものを紹介。
※個人的趣味に基づくところが多いのはご了承下さい

イントロダクション

○ 測定器とセンサ → C06, C07

◇ 測定器 = センサ + 処理機能 + 表示 (+ 保存)

- ・ 測定器は広い意味ではセンサの一種
= センサの基礎知識は役立つ
※ センサそのもの、その処理など
- ・ 処理機能を持ち、情報として結果表示する。
- ・ 最近ではUSBメモリ等への保存機能や、
USB, ネット経由の転送機能も一般化。
- ・ パソコンの測定器化アダプタも増えた。

今回の目的

○ メカトロのための測定器

テーマ1：イントロダクション

- ・ 測定器の重要性

テーマ2：電子回路系の測定器

- ・ テスタ
- ・ オシロスコープ

テーマ3：メカ系の測定器

- ・ フォースゲージ（力測定）
- ・ 高速度デジタルカメラ

一般的な電氣的測定器

○ 値の測定

◇電圧・電流・抵抗など

◎ テスタ (アナログ/デジタル)

- DVM, DMM (Digital Volt/Multi Meter)

○ LCRメータ

○ クランプメータ (電流計)

- 周波数カウンタ

一般的な電氣的測定器

○ 値の時間変化の測定

◇電圧波形の測定・表示・分析

◎ オシロスコープ

- 装置（アナログ/デジタル）
- USB接続オシロ（+PC）
- FFTアナライザ
- データロガー
- アナログ入力インタフェース+ソフト
 - LabVIEW

テスタ

○ 値を測る、多目的の測定器

◇測定対象

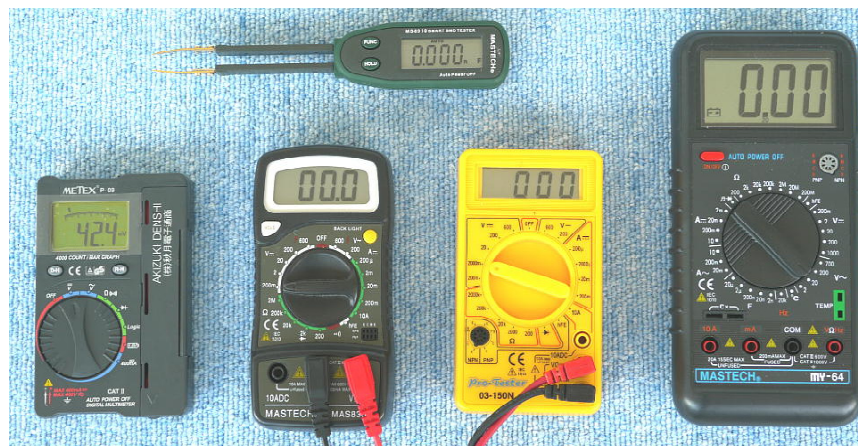
- ・ 電圧・電流・抵抗
- ・ 追加機能:

周波数・容量・温度・トランジスタhfe



◇表示

- ・ 数値
- ・ 針
- ・ バーグラフ



テスタ

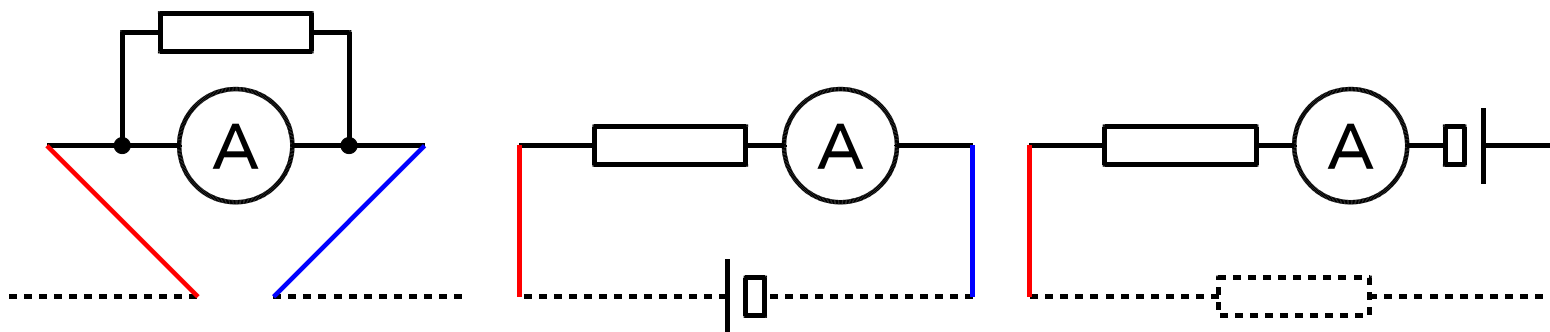
○ 基本原理

◇アナログテスタ中核部分は電流計

←電流(分流回路)

←直列に抵抗 >> 電圧に応じた電流

←電源(電池を繋ぐ) >> 抵抗に応じた電流



テスタ

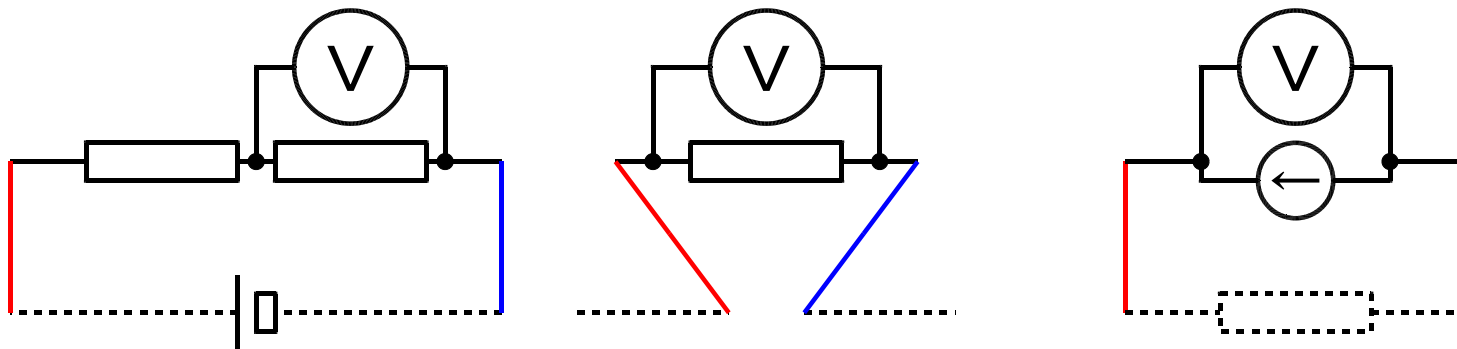
○ 基本原理

◇ デジタルテスタ中核部分は電圧計

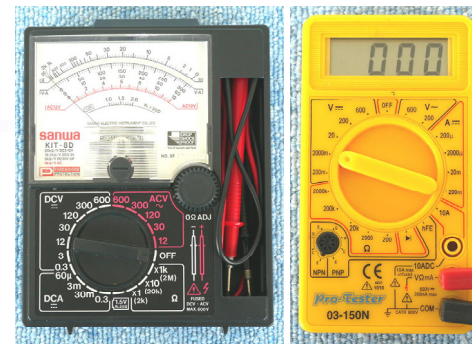
← 電圧（分圧回路）

← 並列に抵抗 >> 電流に応じた電圧

← 電流源 >> 抵抗に応じた電圧



テスタ



○ アナログとデジタル

◇アナログテスタ

× 表示の分解能に限界（精度に関連）

○ 値を直感的に見やすい

特に値が時間的に変化する場合

◇デジタルテスタ

○ 表示を細かく簡単に読める（精度とは別）

× 値が変化していると読み取りにくい

→ 上位機種はバーグラフ付き

テスタ

○ 手動レンジとオートレンジ

◇測定レンジの存在

- 例) 0-200.0mV, 0-2.000V, 0-20.00V
- 測定可能幅と分解能、精度の兼ね合い

※倍率の変更

※ 3-1/2桁表示=1888

◇レンジ切り替え

- 手動 = 電圧測定モードが細分化され、利用者が意図的に選ぶ。
- オート = 過大/小さめの入力で自動切替。



テスタ

○ 手動レンジとオートレンジ

◇手動レンジ

✕ 切り替える必要がある＝目安が必要

○ 勝手に切り替わらない

◇オートレンジ

○ だれでも簡単に使える

✕ 勝手に切り替わる

◇メカトロの場合？

・ 手動レンジのほうが使いやすい



テスタ

○ チップ部品用ピンセット型

◇ 今時の部品対策

- ・ピンセットのように挟むと測定。
- ・試作用にテープから出した抵抗、コンデンサの値が不安になったとき。
- ・リバーエンジニアリング（とくにコンデンサ）



テスタ

○ 選定と調達

◇デジタルが主体、アナログも必要

◇手動レンジ型も必要

◇数はある程度必要

- ・同時に電圧・電流など複数測定。
- ・気づくと電池切れしている。

◇精度面

- ・精度の良いものも望ましいが、通常は
ほどんど(安物)でよい＝「5V出てる？」



○ 時間波形を見るための装置

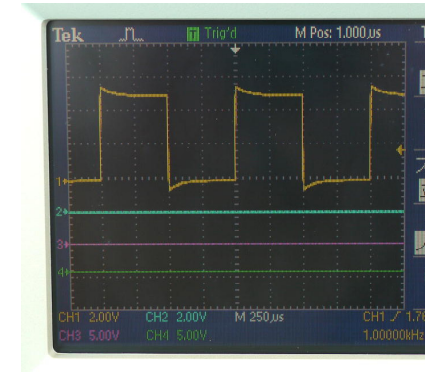
◇時間変化する信号の計測

- ・アナログ信号
- ・デジタル信号

※ロジックアナライザを使うまでもない場合

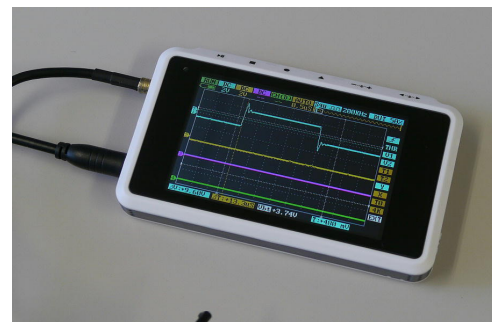
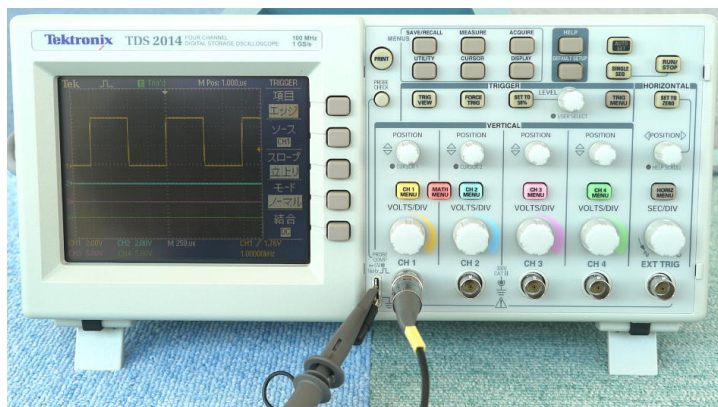
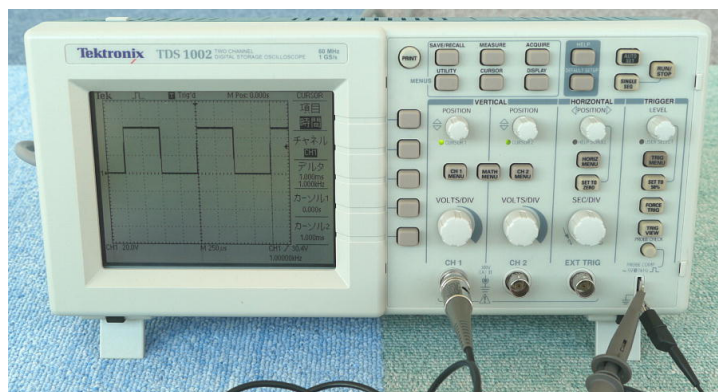
- ・繰り返しのある信号
- ・単発信号

◇その他のセンサ・測定器を繋いでの汎用測定 →後に紹介



オシロスコープ

○ 時間波形を見るための装置



オシロスコープ

○ 動作

◇値の取り込みと表示

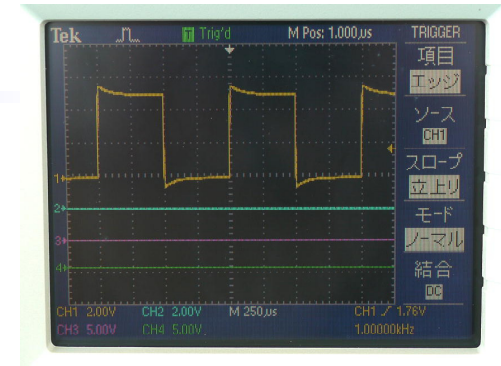
- ・横軸時間、縦軸電圧のグラフを刻々と。
- ・表示の保持、保存。

◇取り込みタイミングの設定

- ・入力信号がある条件の時に表示。

◇分析機能

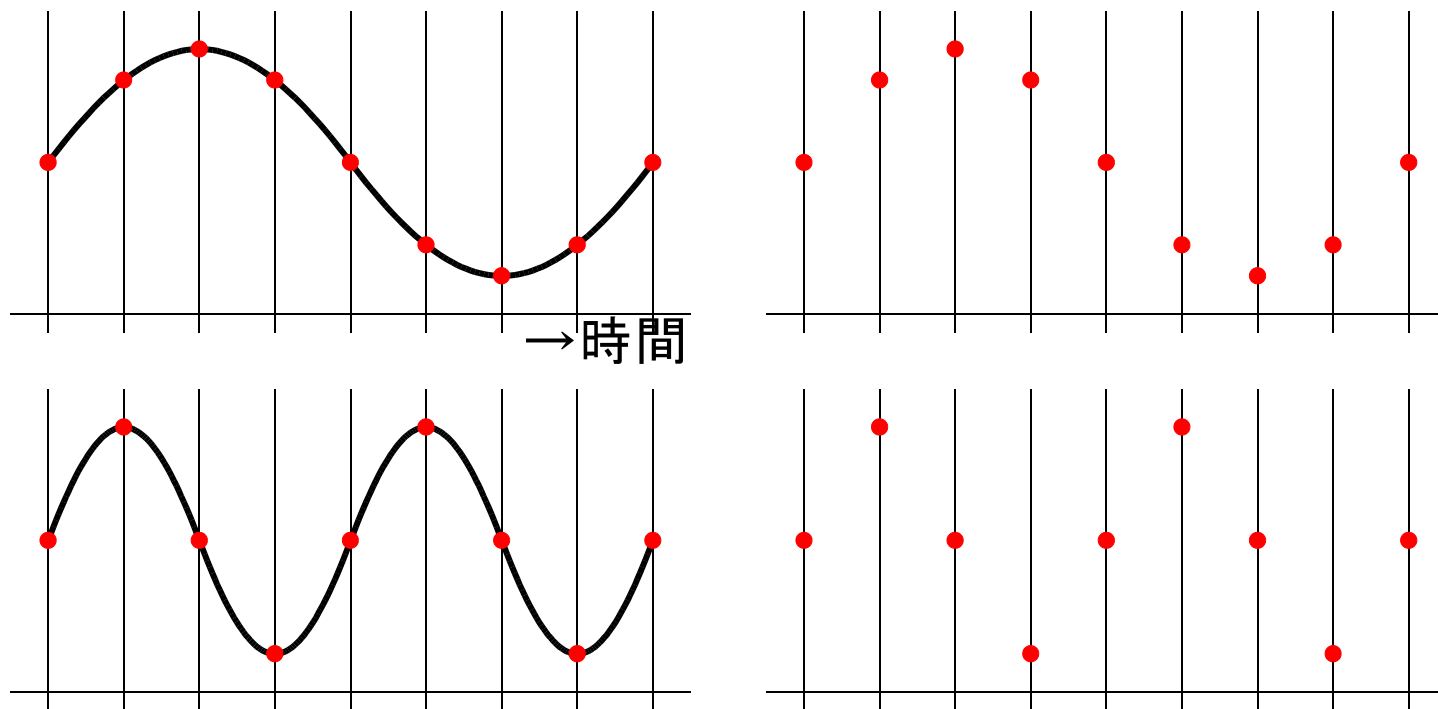
- ・周期や周波数、振幅の測定（自動/目視）
- ・周波数成分の分析など。



オシロスコープ

○ デジタル特有：サンプリング →C05

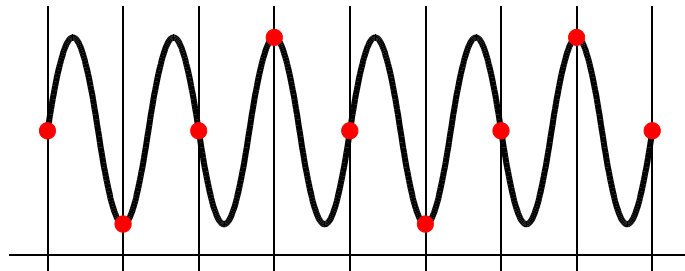
◇等間隔での値の取得（AD変換）



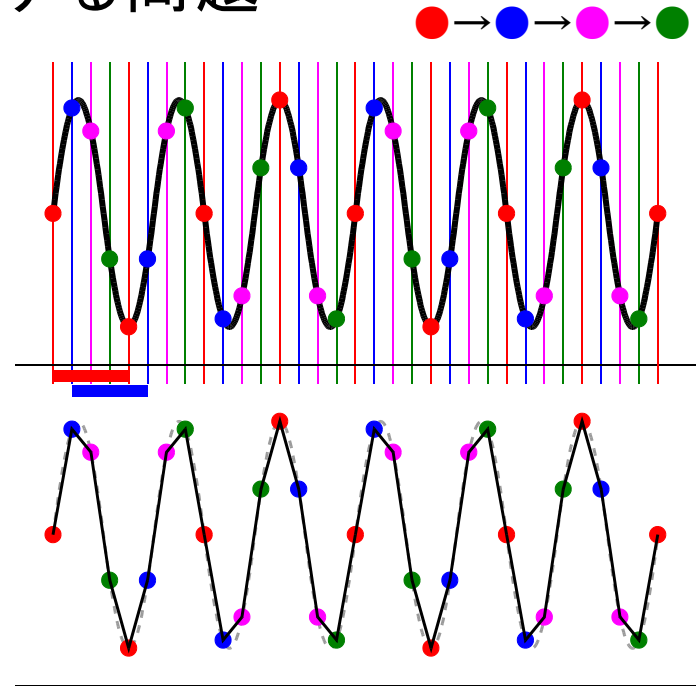
オシロスコープ

○ デジタル特有：サンプリング →C05

◇とびとびの値に起因する問題



エイリアシング
(サンプリング定理)



等価サンプリング

オシロスコープ

○ 設定項目

◇縦軸：電圧の設定

- ・レンジ： 1目盛(DIV)あたりの電圧
- ・表示位置(オフセット)：「0V」の画面位置
- ・DC/AC、上下反転、フィルタ、平均化

◇横軸：時間の設定

- ・レンジ： 1目盛あたりの時間
- ・表示位置(トリガ時刻の位置)

オシロスコープ

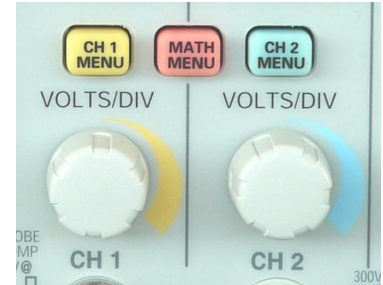
○ オシロスコープの追加機能

◇チャンネル間演算

- ・(Ch1)－(Ch2) など

→ 電位差などをその場で表示

※表示同士の差なのでレンジ・オフセットに注意



◇周波数分析

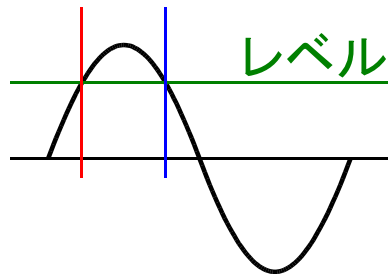
- ・FFT機能
- ・表示波形の中に含まれる周波数の成分を分析する。→ 周期ノイズの原因特定など

オシロスコープ

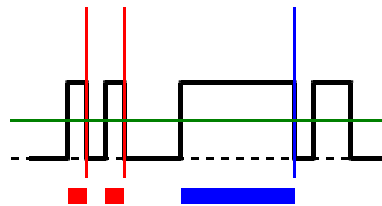
○ トリガ

◇データ採取、画面表示する基準時刻を決定

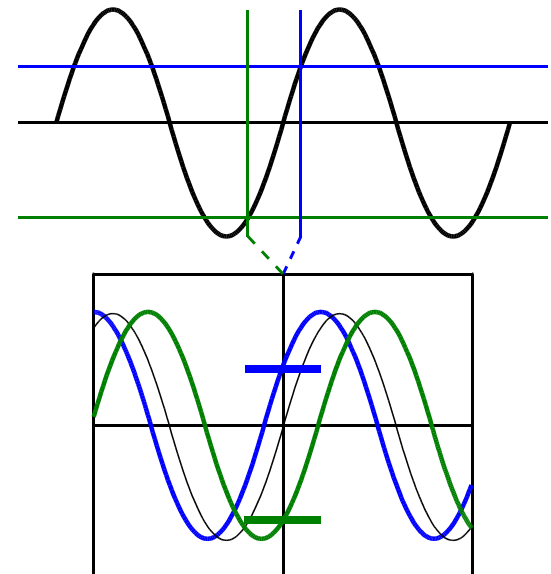
- ・エッジ(立ち上がり/立ち下がり)・パルス・特殊
- ・トリガレベル



立ち上がりエッジ
立ち下がりエッジ



パルス 幅<○○
パルス 幅>○○



オシロスコープ

○ トリガ

注意) AUTOボタンは別もの
条件の自動設定

◇トリガと画面表示の設定

- **NORMAL** (ノーマル)

トリガしたときだけ画面を更新。

- **AUTO** (オート)

トリガが無い期間には自動で表示。

- **SINGLE** (シングル)

1回目のトリガで画面更新、以後停止。



オシロスコープ

○ トリガ

◇トリガの設定手順

- ・最初は**AUTO**にして、見たい波形が出ているか(流れるか)だけを確認。
- ・トリガ条件、レベルを設定して、ひっかかることを確認。(頻度によっては出が悪いことも)
- ・**NORMAL**に切り替えて、条件やレベルを再度調整する。
- ・通信波形などは**SINGLE**が便利。

オシロスコープ

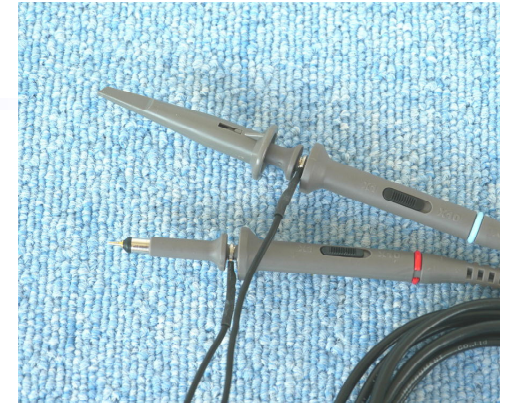
○ オシロスコープの注意点

◇精度

- ・縦軸8bit(=256段階)が主流＝案外粗い。
- ・「**波形を見るもの**」であって、「値の計測」ではないため、精度があまり重視されず。

◇プローブの接続

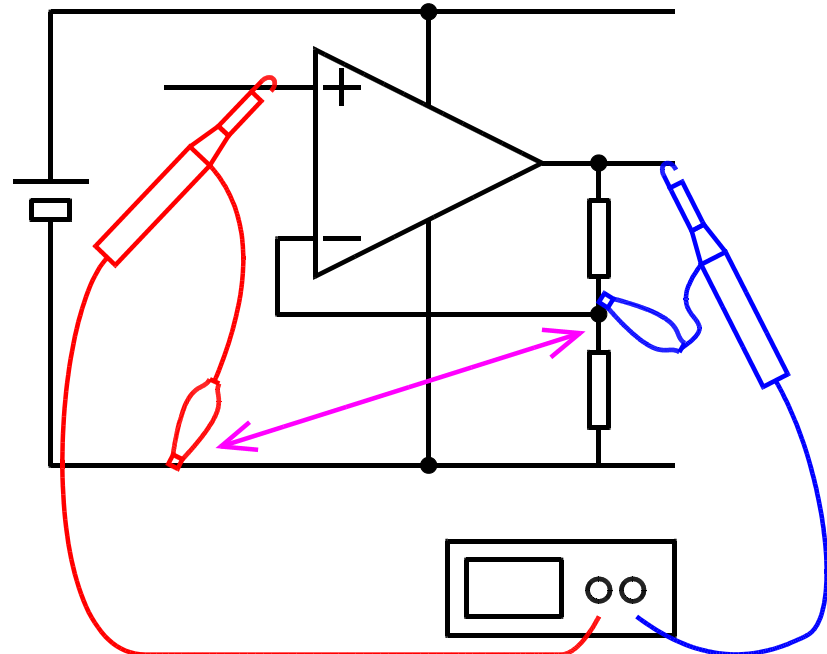
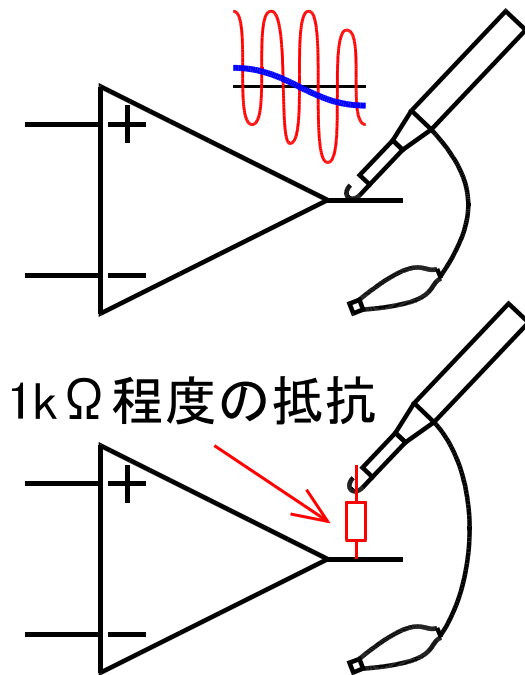
- ・ただの線では無く、**ここまでオシロ**。
- ・線の容量性で回路が異常になることあり。
- ・GNDは一般に共通なので、ショート注意。



オシロスコープ

○ オシロスコープの注意点

◇プローブの影響 ・ GND共通

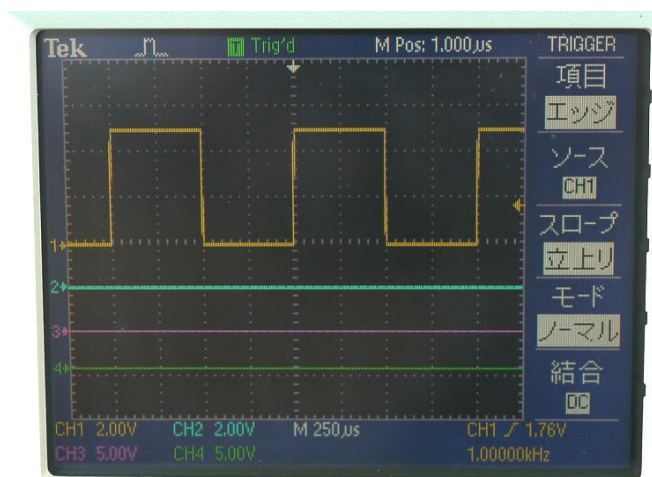
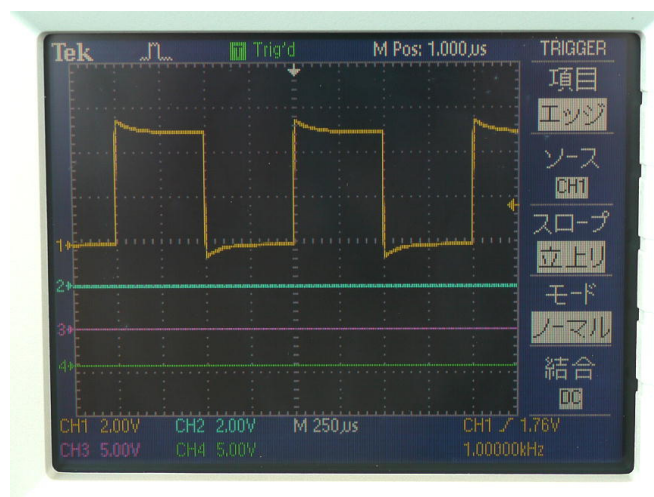


オシロスコープ

○ オシロスコープの注意点

◇プローブの調整

- ・ プローブのコネクタに小さな調整ねじあり。
- ・ 矩形波(オシロ標準装備)で調整する。



オシロスコープ

○ 選定と調達

◇値段

- ・ 数万円～数千万円
- ・ ブランド & 性能

◇選定基準： チャンネル数

- ・ (1 or) 2 or 4
- ・ タイミング比較などのために最低でも2、デジタル部のチェックなどで4欲しくなる。

オシロスコープ

○ 選定と調達

◇選定基準： 帯域(BW) (≠サンプリング周波数)

- ・表記例) 帯域 100MHz
- ・どのくらいの周波数の正弦波まで、(ほぼ)扱うことができるかのアナログ部の性能。
- ・デジタルの矩形波を見る場合は、目的信号の10倍は必要。
- ・足りないと、信号の形が変わる、振幅が小さくなるなどの影響。 →C04

オシロスコープ

○ 選定と調達

◇選定基準： サンプルング周波数（～レート）

- ・表記例） 100MS/s （メガサンプル/秒）
- ・デジタル化する頻度、速いほどよい。
- ・等価サンプリングは、メカトロには不向き機能なので、選定時に注意。

※等価サンプリングは1GS/sだけど

実サンプリングは20MS/sなど。

最近はこのパターンは減った印象。

オシロスコープ

○ 選定と調達

◇その他の雑多な選定基準

- **バッテリー内蔵タイプ**は運用時に電源線がいらないのは便利。絶縁も完全。
- **PC接続型**は大画面で表示できるが、**GNDがPCと共通**だったりするので注意。
- 装置型は「**つまみが多い**」方が良い。
切り替えて使うのは予想以上に面倒。
ボタン型も使いにくい。

電流計（クランプメータ）

○ モータや電源線の電流を手軽に測定

◇回路を切って挿入しなくとも測定できる

- ・ 電流の流れる電線の周囲にできる磁界を磁気センサなどで計測する。

cf. 一般的電流計(テストは)回路に挿入

◇電線をくわえる

- ・ レバーを押すと先が開く。

◇主に大電流(数A～数百A)用

- ・ 逆に、小電流は測定困難。



電流計（クランプメータ）

○ 交流用 と 交流直流用

◇外見は似ていても機能が異なる

- 簡易的なものは、**交流専用**(商用電源)。
- 安価なものは大抵は直流を測れない。

例) DC-V, AC-V, AC-A

- 上位機種は**直流電流**も測れる。

例) DC-V, AC-V, **DC-A**, AC-A

※価格が数倍異なる（数千円 vs 数万円）

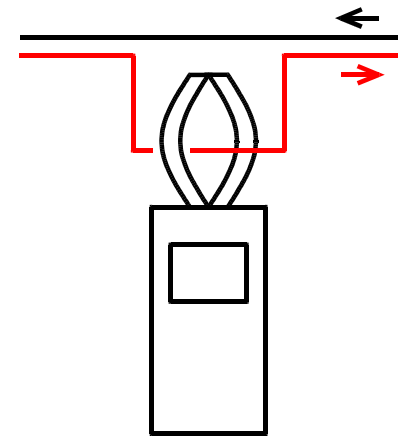
- **メカトロ用途は直流**機能が重要。

電流計（クランプメータ）

○ 使用方法

◇電流が流れる線をくわえる。

- 1本だけほぐして通す。
まとめて通すとトータル0。
- 5回巻き付けると、原理的に
測定値は5倍になる。



電流計（クランプメータ）

○ その他の機能

◇ピーク保持機能

- ・突入電流の測定など

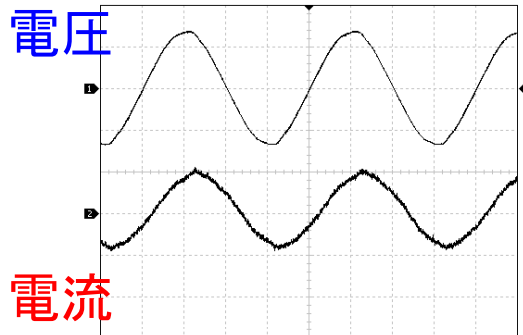
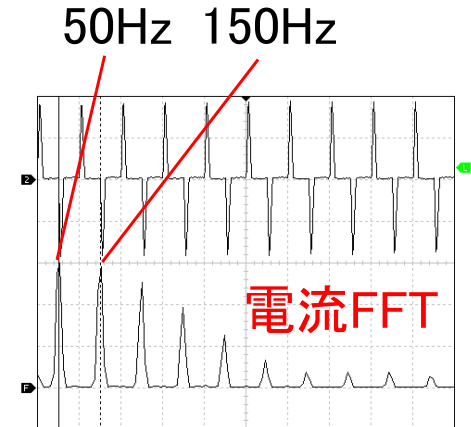
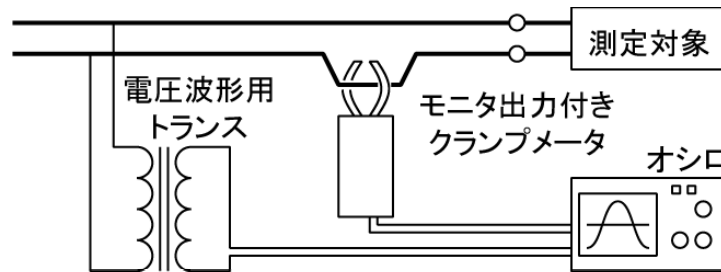
◇電流モニタ出力

- ・リアルタイムに電流の波形が出てくる。
高級な電流センサ。
→ オシロスコープで波形の記録ができる

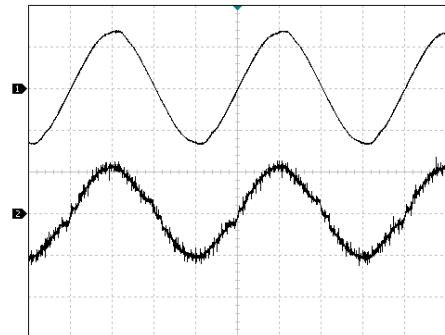
電流計（クランプメータ）

○ その他の機能

◇ 電流モニタ出力＋オシロ



電気コンロ



高級直流電源装置



パソコン

電流センサ（クランプメータ）

○ 選定と調達

◇必要機能をリストアップ

- 直流測定の必要性（強く推奨）
- 電流モニタ出力（あると便利）
- 測定電流の目安 10A～1000A レンジ
種々あるが、2段切替が主。

◇価格相場

- 交流のみ：数千円 直流も：数万円

LCRメータ

○ コイルL、コンデンサC、抵抗R

◇コンデンサの容量と抵抗

- ・ 多機能デジタルテスタでも測定できるが、CのESR(直流等価抵抗)の測定も。

◇コイルのインダクタンス

- ・ メカトロ的に重要（アクチュエータはコイル）
- ・ 巻き線の不良は、インダクタンスの変化に出やすい。抵抗も変わるが、もともと小さく測定しにくく不良発見しにくい。



LCRメータ

○ 使用・選定他

◇使用上の留意

- ・線が長いと誤差になりやすい。
- ・測定用周波数の選定
100Hz, 1kHz, 10kHz など選べる
→ 周波数によって特性が変わる

◇選定は測定対象、精度とコスト

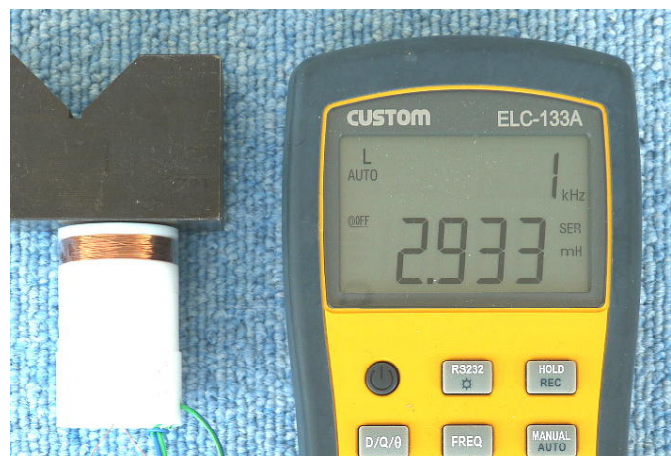
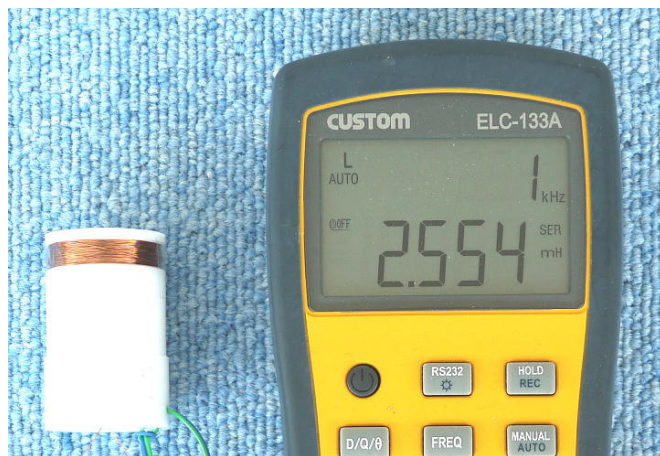
- ・低コスト、ハンディなものは、さほど数は多くない。

LCRメータ

○ 使用・選定他

◇特殊な活用例：金属探知機

- ・ 適当に巻いたコイルをLCRメータに接続。
- ・ 厚さや密着具合を調べたい金属に押しつけて、インダクタンスの変化を見る



今回の目的

○ メカトロのための測定器

テーマ1：イントロダクション

- ・ 測定器の重要性

テーマ2：電子回路系の測定器

- ・ テスタ
- ・ オシロスコープ

テーマ3：メカ系の測定器

- ・ フォースゲージ（力測定）
- ・ 高速度デジタルカメラ

メカの計測

○ メカトロゆへの測定

◇機械の動作の計測

- ・位置、角度の計測
- ・平面/空間での軌道
- ・速度、角速度の測定 ←直接or微分
- ・振動の測定（加速度センサ等）

◇機械の力の測定

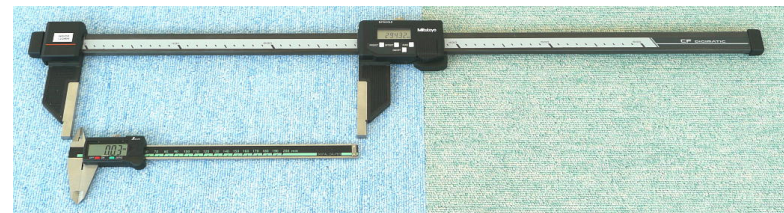
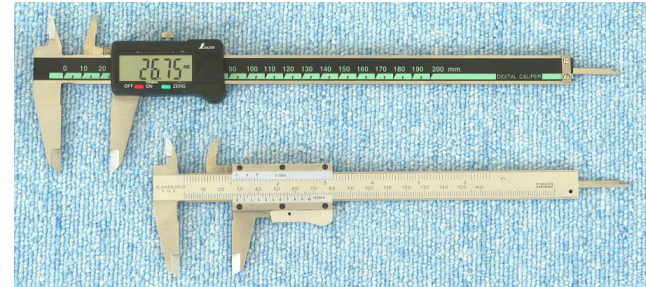
- ・作動部の力 / トルクの測定
- ・機械の切削力（寿命の測定など）

メカの計測

○ メカトロゆへの測定

◇単体の測定器具

- 定規
- ノギス： 長さ, 厚さ, 径、精度0.05mm程度
※デジタルノギスでOK
- マイクロメータ、ダイヤルゲージ：
微小な厚さや変位の測定
- バネばかり等



フォースゲージ

○ 押す/引く 力の測定器

◇基本機能

- ・ 1軸の力を測定する。

◇便利機能

- ・ ピークホールド（最大値保持）
- ・ OK/NG判定（閾値設定，産業用）
- ・ モニタ出力（測定値に比例した電圧）

→ オシロ等と組み合わせ → 力変化記録



6軸のセンサー→C13

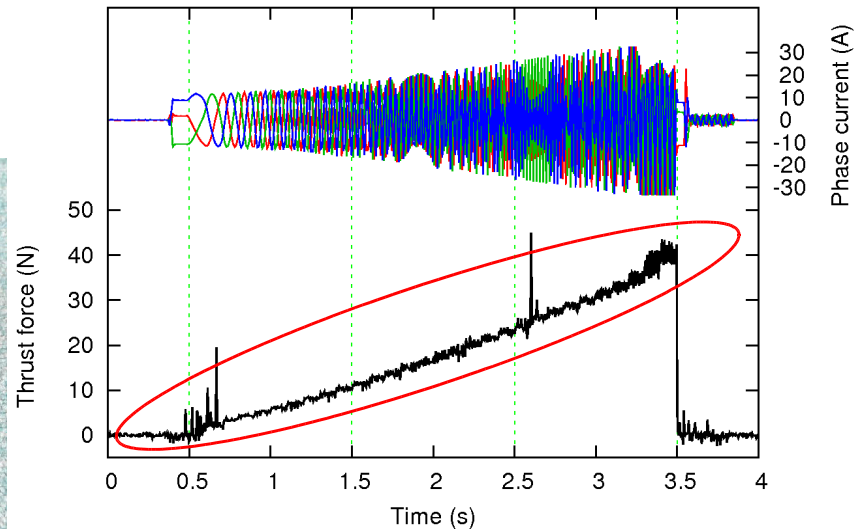
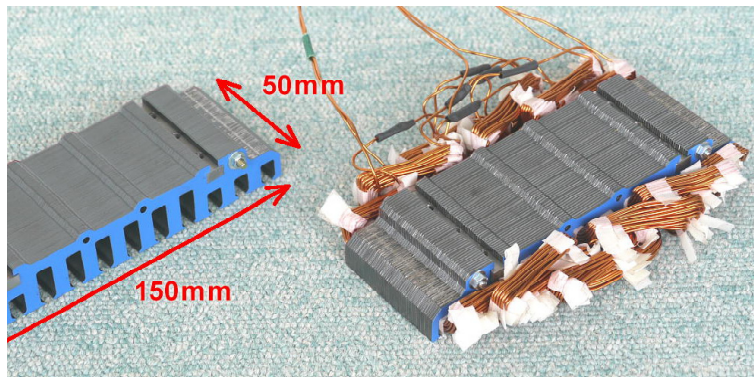
フォースゲージ

○ 押す/引く 力の測定器

◇便利機能

- ・ モニタ出力（測定値に比例した電圧）

→ オシロ等と組み合わせ → 力変化記録



フォースゲージ

○ 押す/引く 力の測定器

◇使い道

- ・アクチュエータの出力確認
- ・メカの抵抗の測定
- ・組み立て等の押し込み力など測定

◇選定

- ・レンジ（例：max 2,5,20,50,100,200,500,1000N）
- ・アナログモニタ出力の有無
- ・パソコンとの接続機能



高速度デジタルカメラ

○ これ1台でメカ挙動には備え万全！？

◇CASIO HIGH SPEED EXILIM

- ・最大 1秒間1000コマの高速撮影
- ・お手軽価格(5万円以下)、お手軽運用。

以前の高速度撮影専用カメラは
最低で100万円、専用のPC接続など。



カシオ社WEBより

※一度 動画ファイルになるので制御には使えない。

※最近はコンパクト型のみになったのが残念。

※現有機は初代EX-F1(左写真), 1200fpsまで。

高速度デジタルカメラ



○ 高速度撮影でできること

◇ 一般的動作計測

- **メカ等の動作の検証** 不具合の原因確認
- 衝突時の瞬間的な弾性変形
- 人の運動計測（通常カメラでは意外に不十分）

◇ 時間計測（コマ数え）

- **回転速度、振動周期**の測定
- 運動速度や軌道の測定

→ 実例映像集

高速度デジタルカメラ

○ コマ数の選定

◇速度を上げると解像度が落ちる

- 30fps → FullHD(1920x1080)まで
- 120fps → 640 x 480
- 240fps → 512 x 384
- 480fps → 224 x 160 <小さい
- 1000fps → 224 x 64 <使いにくい

EX-ZR1000仕様より抜粋

→適切な速度設定が必要

高速度デジタルカメラ

○ コマ数の選定

◇コマ数選定の目安

- ・まずは撮影してみる。
- ・サンプリング定理から決める。
1秒間にN回起こる現象には、少なくとも
2N fps、なるべく 4N fps 程度を選定
例) 3000rpmで回転するもの
→ 秒50回転 → 240fps欲しい

高速度デジタルカメラ

○ 使用上の注意点

◇光源

- ・強力な光源が必要。(シャッターかなり高速)
- ・明滅しない光源が必要。
蛍光灯や水銀灯は難、
日光や白熱電球が良い。

◇撮影時間

- ・単発現象を取るときに、カメラを回したままにすると、非常に長い映像になる。

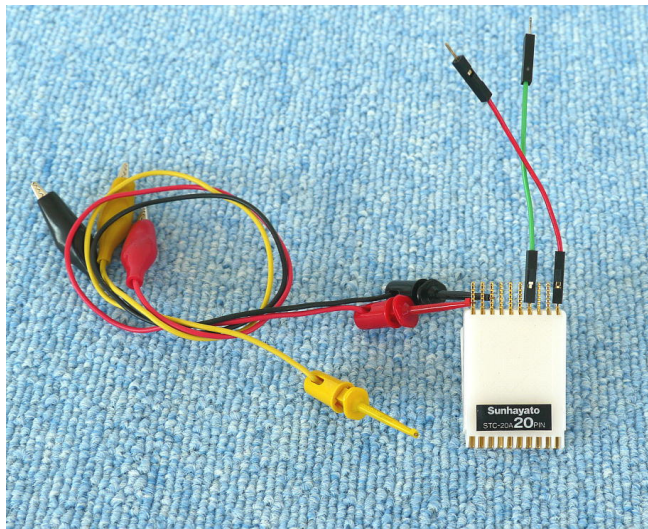


測定器利用の補遺

○ 測定補助の道具

◇計測用信号線の接続

・ICクリップ類



ICクリップ(線, DIP用)、ジャンパ



細いIC用クリップ (0.5mm)

測定器利用の補遺

○ 測定補助の道具

◇ 補助具の自作

- ・ 測定器固定用治具



コネクタ保護 &
配線引き出し

力↓



ここで力を受ける→



測定器利用の補遺

○ 動作のチェック

◇測定器が思うとおりに動いているか

- ・ テスタの線の接触不良（断線しかけ等）
- ・ 部分故障、電池切れ（乾電池・充電池）
- ・ オシロプローブの調整
- ・ 機器の操作慣れ

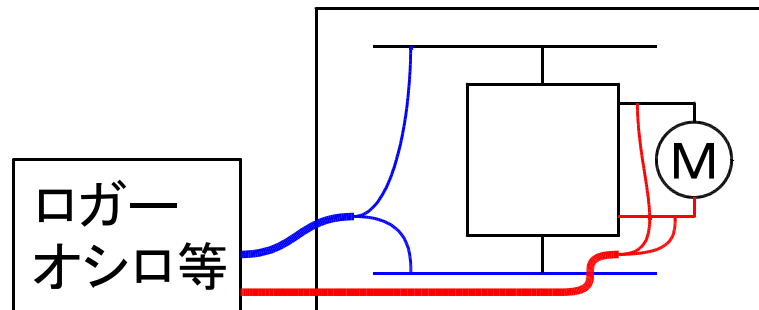
→ これら「あたりまえ」ができていないと
予想外のトラブルではまることに。
測定器を使う前に必ずチェック。

測定器利用の補遺

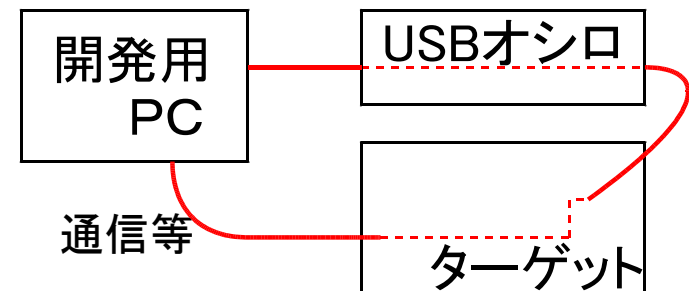
○ 測定器の絶縁・非絶縁

◇基準側端子がどこにつながっているか

- ・チャンネル間共通
- ・装置の入出力端子(USB)と共通
- ・PC接続端子と「ある電位差で」共通



ロガー損傷事例：非絶縁だと大惨事



組込開発の注意事項

研究室で使っている測定器のメーカー（参考）

◇テスタ

- ・ 多数。秋月電子で買って来たものが多い。
- ・ 三和電気計器(sanwa)、日置電機(HIOKI)

◇オシロスコープ

- ・ テクトロニクス、アドテックシステムサイエンス、OWON

◇その他

- ・ クランプ電流： HIOKI
- ・ LCR： カスタム(CUSTOM)
- ・ フォースゲージ： イマダ、エーアンドデイ
- ・ ノギス類： 無名, ミットヨ
- ・ 高速度デジカメ： CASIO

今日の中での測定器の優先順位（主観）

テスタ： 安いしすぐ買える。チップ用も1台。
デジタルノギス： メカに触るなら必須。電子回路にも便利。
高速度デジカメ： 普段は通常のデジカメ、いざというとき活躍。
オシロスコープ： 最低限のでも1台欲しい。
クランプメータ： 電流を気にするなら1台。

フォースゲージ： あれば使い道はある。
LCRメータ： 必要なのは特殊な場合？
ロジックアナライザ： 案外オシロで済んできた。
6軸力センサ： かなり特殊な部類

※あくまで個人的な趣味です。

まとめ

○ メカトロのための測定器

- ・ 測定器には、おおむね
精度・性能を検証するため
思った通りの動作かを検証するための、二つの使い方がある。
- ・ 前者は精度を重視し、導入必須。
- ・ 開発段階では主に後者で、扱える範囲がより重要となる。
- ・ 使い方次第で、測定可能性は広がる。

まとめ

○ 測定器の種類と準備

- ・ ものに関わるなら、**テスタ**と**オシロスコープ**は、最低限でもあったほうがいい。
メカトロ用では速度はあまり要求されない。
- ・ メカの運動に関わるなら、**高速度デジカメ**は便利。手間は多少かかるが、回転計や振動分析に使える場合もある。
- ・ **たまに、非常時に使う**測定器こそ、使いこなすと、メンテは重要。