

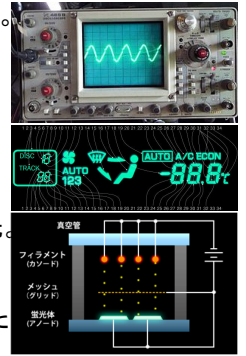
### 前回の復習：外部機器とのデータ入出力：

- 前回学習した非同期通信で外部機器とデータ入出力を  
すると、CPUは外部機器の準備が完了するまで何もせ  
ずに待っているため、稼働効率が低下する。
- CPUが稼働効率を低下させずに外部機器とデータ入出  
力をする方法には、主に**ポーリング**によるデータ入出力  
と、**割り込み**に基づくデータ入出力がある。
- 簡潔にいうと、外部機器がデータ準備ができたというレ  
ジスタ内のフラグを立てて、CPUから呼び出されるのを  
消極的に待つのがポーリング方式、外部機器側から  
CPUに連絡してデータ入出力に必要なプログラムを積  
極的に実行させるのが割り込みに基づく方式である。

1

### 前回の復習：デジタル計測制御システム：表示デバイス

1. ブラウン管、CRT(Cathode Ray Tube)ともいわれる。  
蛍光体に電子線が衝突して発光。  
電子線を曲げるための奥行きが  
必要。あまり使われなくなった。
2. 蛍光表示管  
一定パターンの蛍光体が管内  
に配置され、文字などを表示。  
カソードから放出された電子が  
アノードの蛍光体に衝突して発光。
3. 液晶パネル⇒次のスライド
4. 電界発光パネル  
特に有機EL(有機半導体で作った  
LED)が、コントラストが良く、フレ  
キシブルなので普及しつつある。



2

### 前回の復習：計算機によるデジタル計測制御システム： 計測用インタフェース

- IEEE-488 (GP-IB)  
もともとHP社のHP-IBが標準化された。  
各種計測器を制御。パラレル8bit伝送。  
速度は10kB/s～1MB/s。
- RS-232C  
直列1ビット伝送、最大速度115kb/s、  
古い規格で最近のPCではなくなって  
きている。
- USB(Universal Serial Bus)  
PCの統一インタフェース。伝送速度はUSB2.0で  
480MB/s、USB3.0で5GB/s、USB4で40GB/s



3

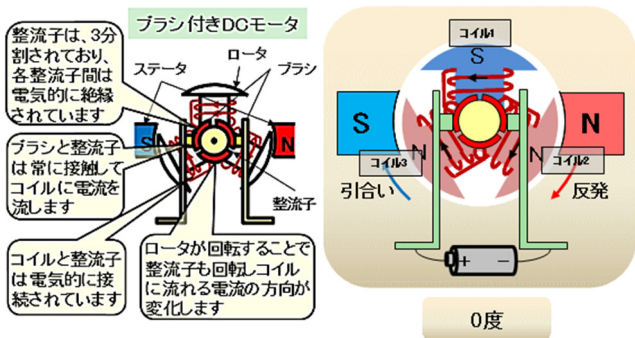
### 前回の復習：ロボットで使われるセンサの例：

	センサ	測定対象
内界センサ (ロボット内 部のセンサ)	エンコーダ・ポテンシオメータ	並進位置、回転角度
	ジャイロセンサ	回転角速度
	加速度センサ	並進加速度
外界センサ (ロボットの 外部環境と 接するセン サ)	視覚センサ(カメラ)	物体の形、色、模様など
	聴覚センサ(マイク)	音声、音の方向など
	距離センサ(レーザ・超音波)	物体までの距離
	近接センサ	近傍の物体の存在
	力センサ、圧力センサ	加わる力の大きさ
	接触センサ	物体との接触

4

### ロボットで利用されるアクチュエータ：

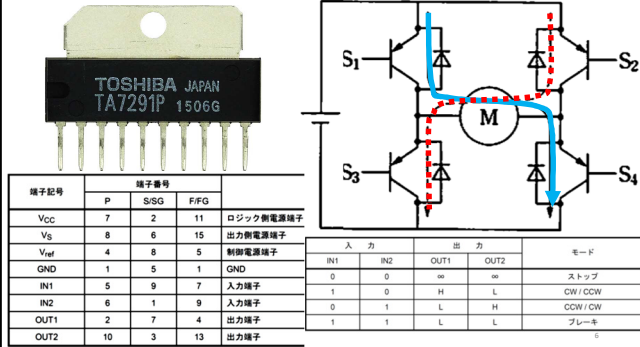
電気モータが最もよく用いられる。直流  
(DC)モータは力が電流に比例するので、  
D/A変換を介して計算機で制御できる。



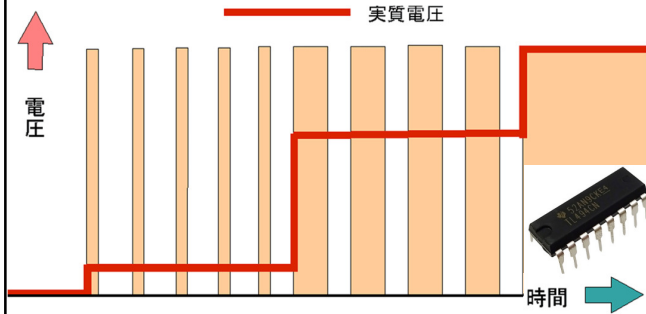
0度

### DCモータの制御(Hブリッジ)：回転方向を電圧で変える。

- S1、S4 ON：電流方向 実線 →
- S2、S3 ON：点線 →
- S3、S4 ON：短絡状態となりブレーキがかかる。

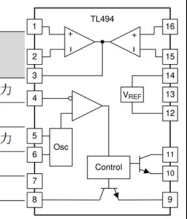


**モータの電圧制御方法: PWM (Pulse Width Modulation)**  
抵抗やレギュレータで電圧制御すると熱損失が多く出るが、PWM制御だと熱損失が少ない。印加電圧は一定で、パルス幅を変えることで、**平均電圧(実質電圧)**を変化させる。周期 $T$ と電圧ONの時間 $T_0$ の比をデューティ比( $=T_0/T$ )という。



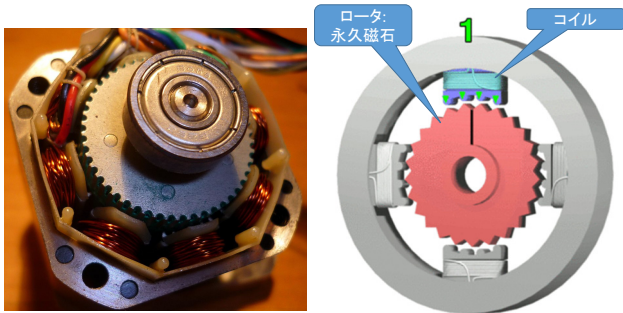
#### TL494 PWM コントローラ:

ピン		タイプ	説明
名称	番号		
1IN+	1	I	エラー・アンプ 1 への非反転入力
1IN-	2	I	エラー・アンプ 1 への反転入力
2IN+	16	I	エラー・アンプ 2 への非反転入力
2IN-	15	I	エラー・アンプ 2 への反転入力
C1	8	O	BJT 出力 1 のコレクタ端子
C2	11	O	BJT 出力 2 のコレクタ端子
CT	5	—	発振器周波数の設定に使用するコンデンサ端子
DTC	4	I	デッドタイム制御コンパレータの入力
E1	9	O	BJT 出力 1 のエミッタ端子
E2	10	O	BJT 出力 2 のエミッタ端子
FEEDBACK	3	I	フィードバック用の入力ピン
GND	7	—	グラウンド
OUTPUT CTRL	13	I	シングルエンド / 並列出力とプッシュプルのいずれか
REF	14	O	5V のリファレンス・レギュレータの出力
RT	6	—	発振器周波数の設定に使用する抵抗端子
V <sub>CC</sub>	12	—	正の電源

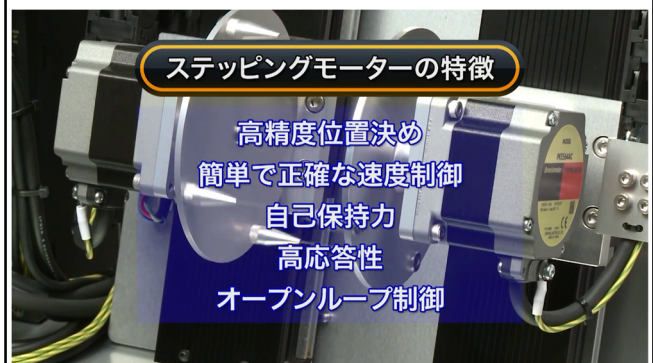


#### ステッピングモータ:

ロータ・コイルとも細かいピッチの凹凸が作られていて、コイルに順番に電流を流すと、1回に1/(コイル数)または2/(コイル数)ピッチだけ回転するように作られている。

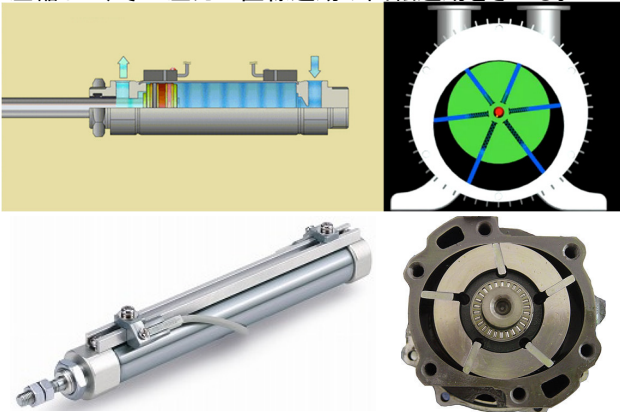


#### ステッピングモータの解説:

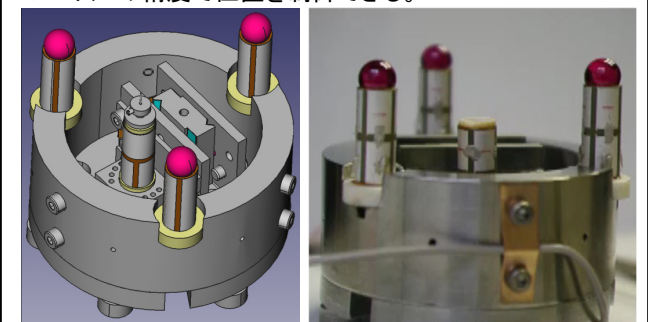


オリエンタルモーター株式会社

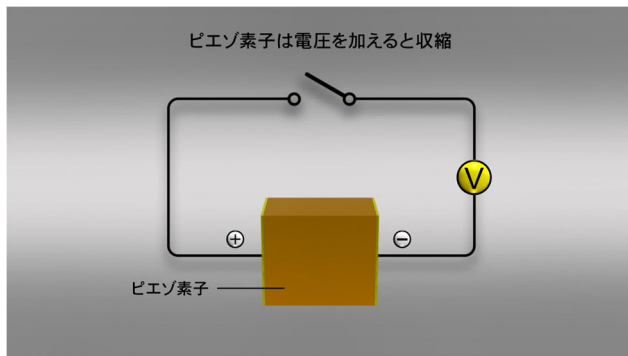
**空圧アクチュエータ:** 空気をコンプレッサーによって加圧・圧縮して、その圧力で直線運動や回転運動をさせる。



**piezo・アクチュエータ:**  $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ 等のセラミック強誘電体結晶のpiezo圧電効果(結晶の分極方向に電場を加えると、結晶の長さが変わる)を使って直線運動をさせる。ナノメートルの精度で位置を制御できる。



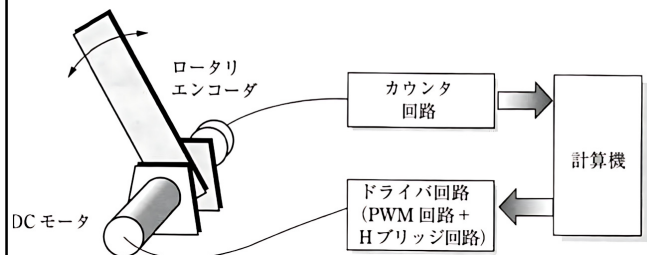
## ピエゾ・プリントヘッド:



セイコーエプソン株式会社

## ロボットハードウェアの構成例:

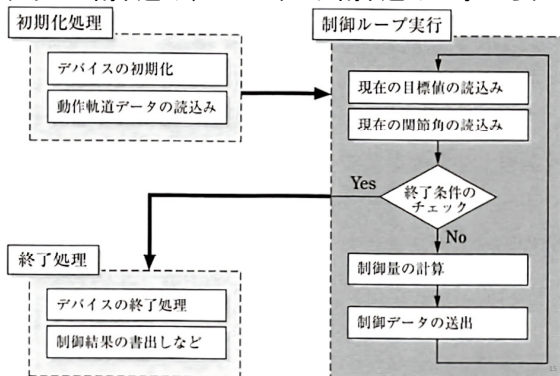
- ・ 関節角度制御ハードウェアの例
- ・ 関節軸には、直流(DC)モータ & ロータリエンコーダ
- ・ 計算機よりPWM+Hブリッジ回路を通じモータを駆動
- ・ 回転角をロータリエンコーダで検知して制御



14

## ロボットソフトウェアの構成例:

- ・ 多くのリアルタイム制御が求められる (組み込みソフト)
- ・ タイマー割り込み、ハードウェア割り込みが求められる



## プログラム例:

```
int time, int flag = false; /* タイマ割込みを示すフラグ */
/* 軌道データ、制御データ保持用配列 */
int tdata[NUM], cdata[NUM];

/* タイマ割込みで呼ばれる関数 */
void timer_interrupt () {
    timer_interrupt_flag = true;
}

void control() /* 制御ループの本体部 */
{
    int t=0; /* 時間ステップを示す変数 */
    int pwm; /* PWMへの出力データ */
    while (true)
    {
        /* データの終わりにきたら抜ける */
        if (t == NUM) break;
        /* タイマ割込みがあったら */
        if (time_int_flag)
        {
            cdata[t] = read_encoder(); /* 関節位置の読み込み */
            pwm = calc_control_data(tdata, cdata);
            write_pwm(pwm); /* 制御量のPWM出力 */
            t++; /* 時間ステップを1進める */
            time_int_flag = false; /* フラグをoffにする */
        }
    }
}

void main()
{
    init_pwm(); init_encoder(); /* デバイスの初期化処理 */
    read_trajectory_data(tdata); /* 軌道データの読み込み */

    set_timer(timer_interrupt, 1.0); /* 1msごとの起動設定 */

    start_timer(); /* タイマ割込みの開始 */
    control(); /* 制御の本体部 */
    stop_timer(); /* タイマ割込みの終了 */

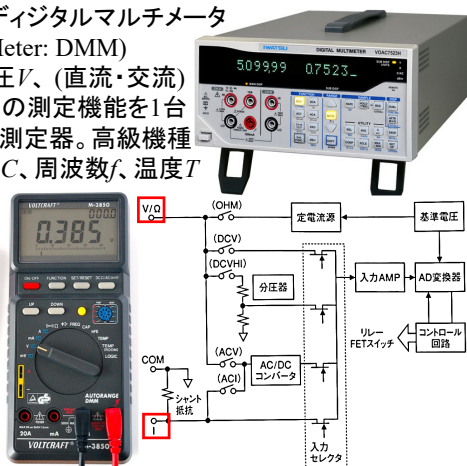
    close_pwm(); close_encoder(); /* デバイスの終了処理 */
    write_control_data(cdata); /* 実際の軌道データの保存 */
}
```

- ・ ハードウェアに依存した部分をモジュール化や関数化する。
- ・ 最初にデバイスの初期化を行って、最後にデバイスの終了処理をする。
- ・ タイマー割込等を使って正確な周期で実行する。

15

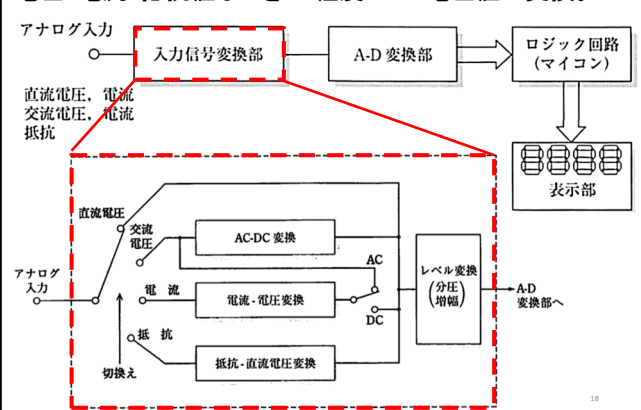
## 電子計測器: デジタルマルチメータ (Digital Multi Meter: DMM)

(直流・交流)電圧 $V$ 、(直流・交流)電流 $I$ 、抵抗 $R$ 等の測定機能を1台にまとめた汎用測定器。高級機種では、静電容量 $C$ 、周波数 $f$ 、温度 $T$ 等を測定できるものもある。一般的に、電圧・抵抗を測定する場合と電流を測定する場合では、接続端子を繋ぎかえる。



## 電子計測器: デジタルマルチメータの入力信号変換部

電圧・電流・抵抗値などを1V程度のDC電圧値に変換。



16

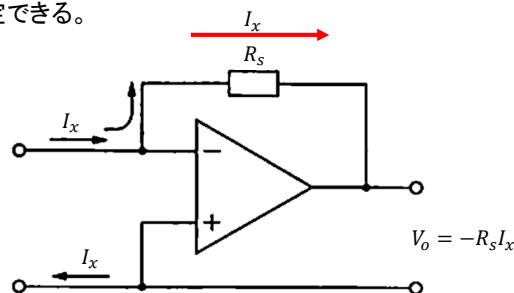


Figure 1 consists of two circuit diagrams, (a) and (b), illustrating the implementation of a precision rectifier and a low-pass filter.

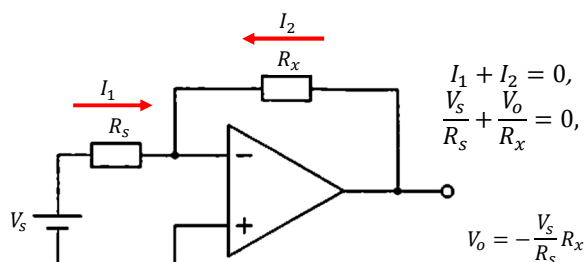
(a) Precision half-wave rectifier circuit: This circuit uses two operational amplifiers (op-amps). The first op-amp is configured as a voltage follower with its non-inverting input connected to the AC input  $V_i$  through a resistor  $R$ . Its output is  $V_a$ . The second op-amp is configured as a precision rectifier. Its non-inverting input is connected to  $V_a$  through a resistor  $R$ . Its inverting input is connected to the output of the first op-amp through a diode and to ground through another diode. The output of the second op-amp is the rectified signal  $V_o$ . Callouts explain the diode's operation: when  $V_i$  is positive,  $V_a = -V_i$  and the diode conducts; when  $V_i$  is negative, the diode is reverse-biased and  $V_a = 0$ .

(b) Precision full-wave rectifier circuit: This circuit uses two op-amps. The first op-amp is configured as a precision half-wave rectifier, similar to (a), but its output is  $V_a$ . The second op-amp is configured as a low-pass filter. Its non-inverting input is connected to  $V_a$  through a resistor  $R$ . Its inverting input is connected to the output of the first op-amp through a resistor  $R$  and to ground through a capacitor  $C$ . The output of the second op-amp is the filtered signal  $V_o$ . Callouts explain the averaging process: the two  $R$  resistors are added in parallel, and the resulting signal is smoothed by the RC network. The time constant  $\tau = RC$  is used to adjust the smoothing.

オペアンプの反転増幅回路を利用して $R_s$ に流れる電流によって生じる電圧降下を測定する。 $pA$ 程度の微小な電流も測定できる。



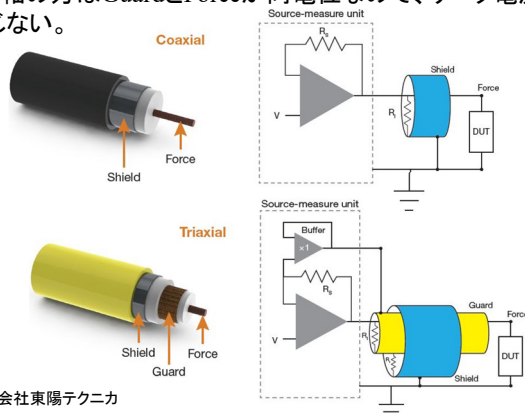
オペアンプの反転増幅回路を利用して測定対象の抵抗 $R_x$ に一定電流を流し、その両端に生じる電位差を測定する。



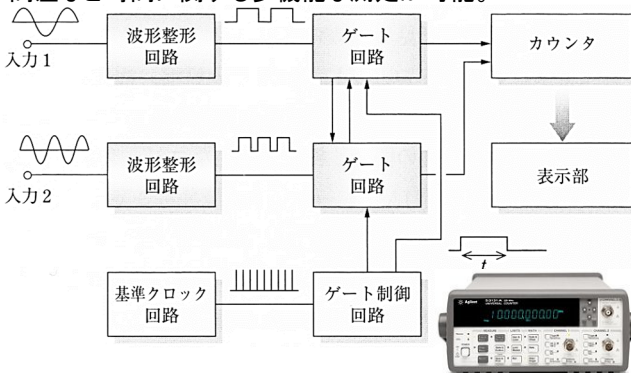
微小電圧( $nV$ )、微小電流( $pA$ )、高抵抗( $G\Omega$ )測定に特化したDMM。普通のDMMより高価で、ノイズ対策のために、電気信号入力には三同軸ケーブル(Triaxial cable)を使うものもある。特に、微小電圧測定に特化したものを**ナノボルトメーター**、微小電流測定に特化したものを**ピコアンメーター**という。



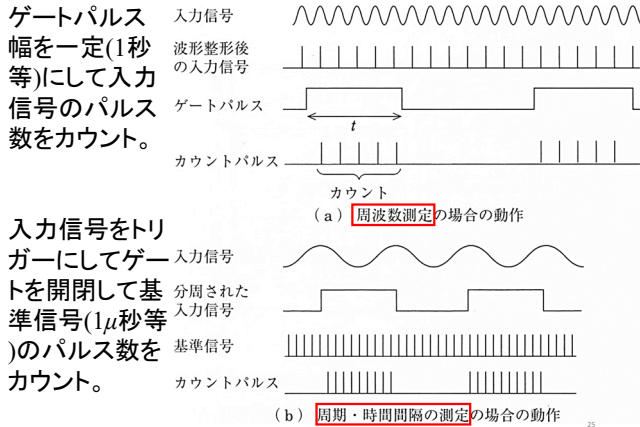
(参考) Coaxial(同軸)ケーブルとTriaxial(3同軸)ケーブル  
3同軸の方はGuardとForceが同電位なので、リーク電流が生じない。



電気信号の周波数や周期やパルス幅や、2つの信号の時間差など時間に関する多機能な測定が可能。



### 電子計測器: ユニバーサルカウンタの動作例



### ファンクションジェネレーター:

#### (Function Generator)

任意の周波数の正弦波、三角波、鋸波、矩形波等の電気信号を発生する装置。交流電源の一種。



#### 定電流電源:

一定値の直流電流を流せる電源。電流値が一定になるように、電圧にフィードバックをかけている。ちなみに、電池や家庭用コンセントは定電圧電源である。

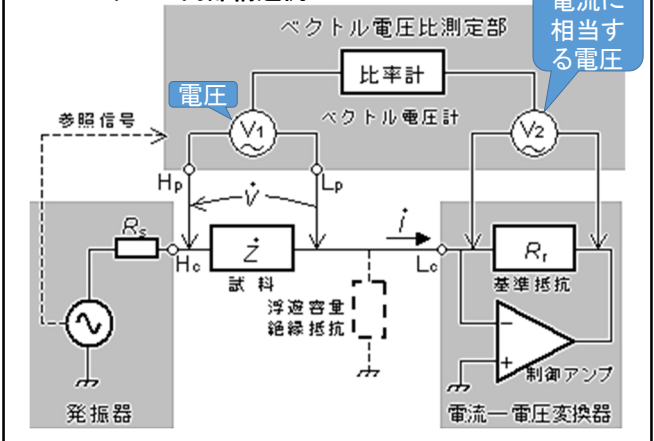


### LCRメーター:

電子デバイス素子のインダクタンス $L$ 、静電容量 $C$ 、抵抗 $R$ を測定する計測器で、周波数依存性も測定できる。テストデバイスに交流電圧 $V_0 e^{i\omega t}$ をかけて、その時流れる電流 $I_0 e^{i\omega t + i\theta}$ を測定して、インピーダンス $Z = V/I$ を計算する。



### LCRメーターの内部構造例:



### 次回の予告: 電子計測器(2)

主として以下の電子計測器の働きについて学ぶ。

- ・ オシロスコープ(アナログ/デジタル)
- ・ ロジックアナライザ
- ・ スペクトラムアナライザ

