

# 回路学第一

## 第1章

回路とは何か？ 何を学ぶのか？

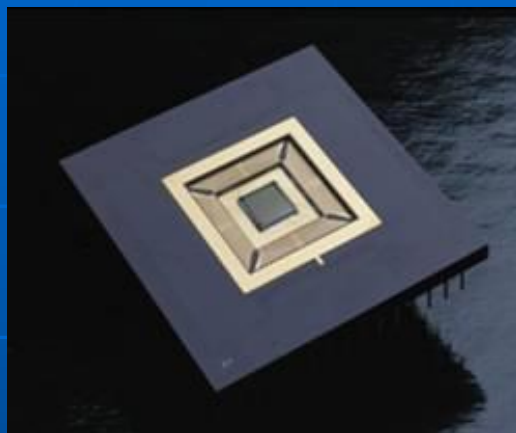
計数工学科 篠田裕之

<http://www.hapis.k.u-tokyo.ac.jp/>

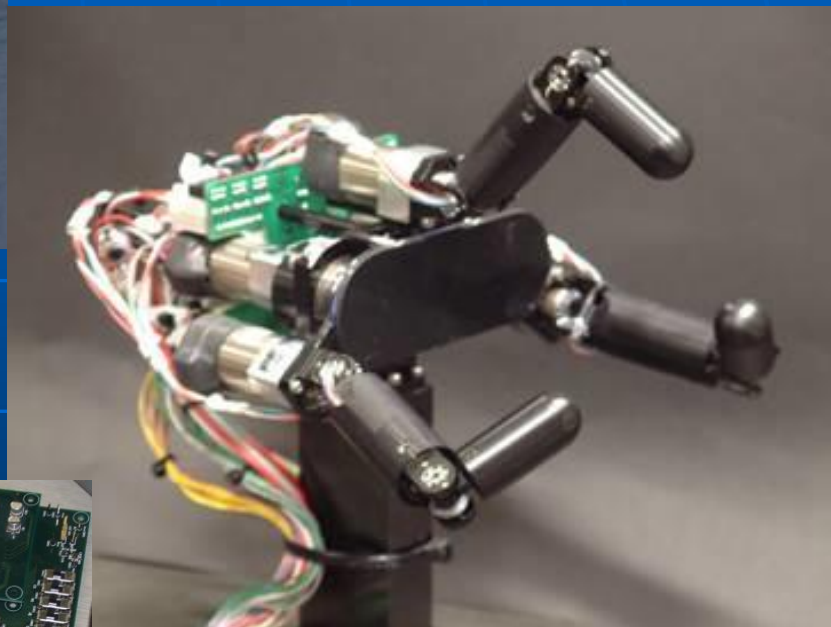
1. 授業開始時の 10分間で ITC-LMS に出席入力して下さい。授業開始時にパスワードを表示します。  
今、出席の登録をしてみてください。  
→ 本日分は成績に反映しません。
2. 授業のスライドは教員個人ページにあります。  
(「回路学第一」で検索)

# 知能を実装した先端的システム

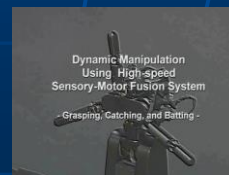
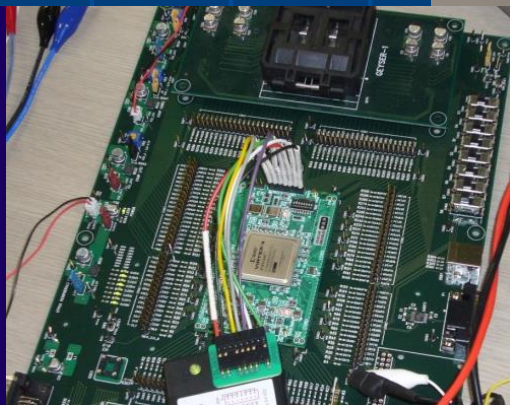
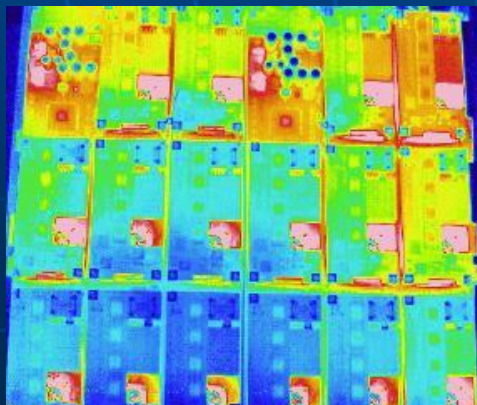
センサ



高速センシングによる  
超高速ロボット制御



コンピューター設計

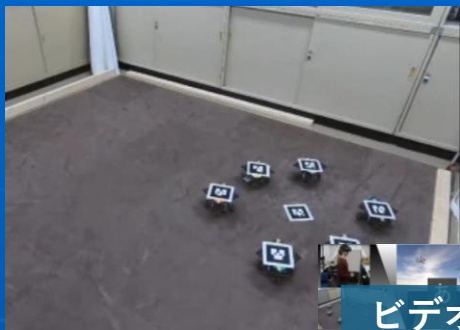


ビデオ 1



ビデオ 2

# センシング・制御とVR/ヒューマンインタフェース



ビデオ

遠隔からの群制御



ビデオ

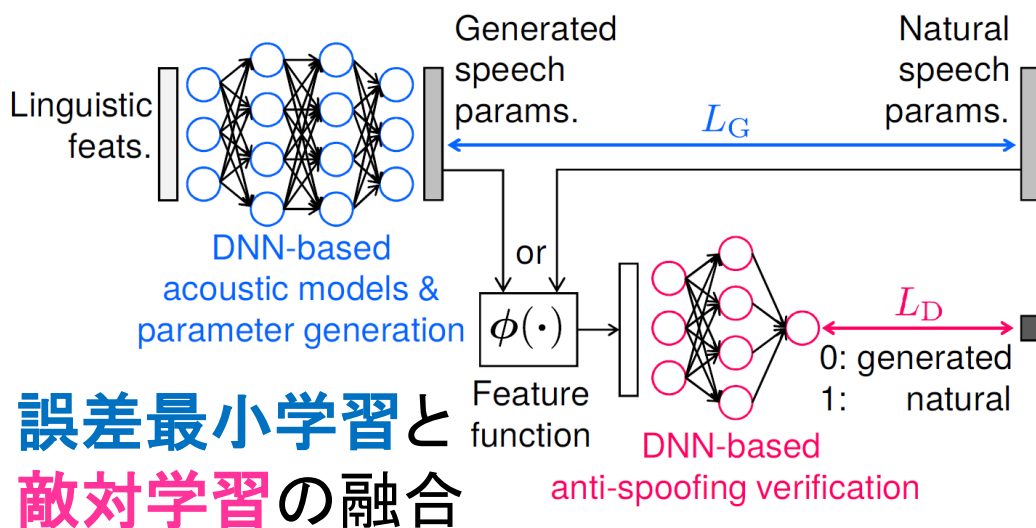
第3・第4の腕



ビデオ

さわれるホログラフィ

## 敵対的DNN音声合成

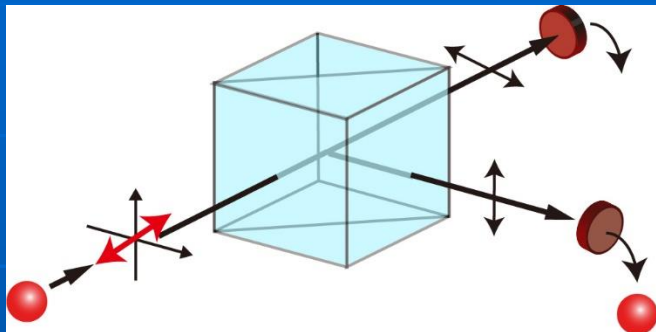


## リアルタイムDNN音声変換

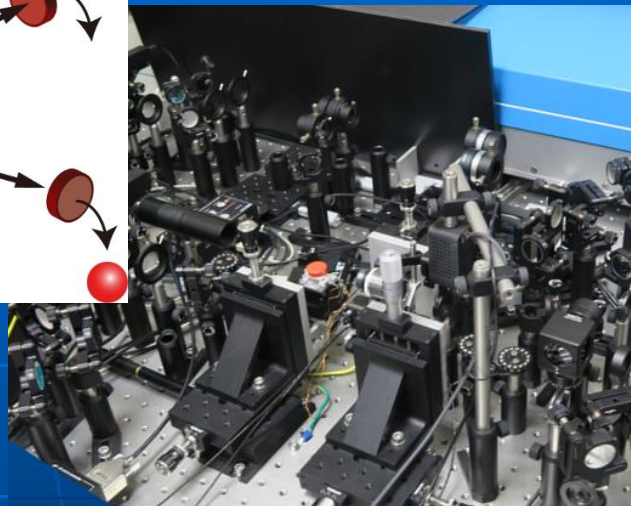


# 医療マイクロマシン

## 物理情報学



一個の光子が意思決定

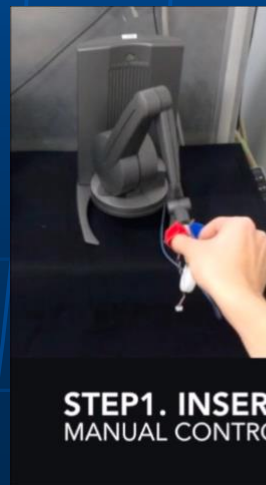


バイオ化学ICチップ

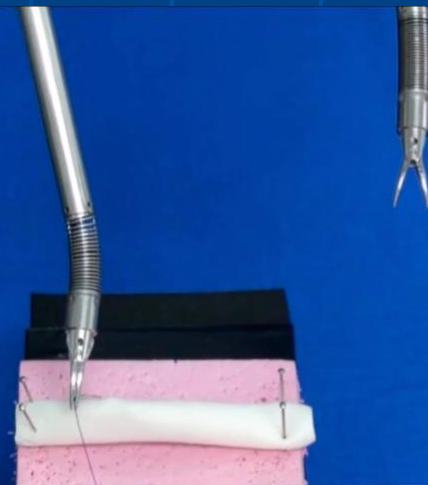
## ブレイン・マシン インタフェース



## 手術ロボット



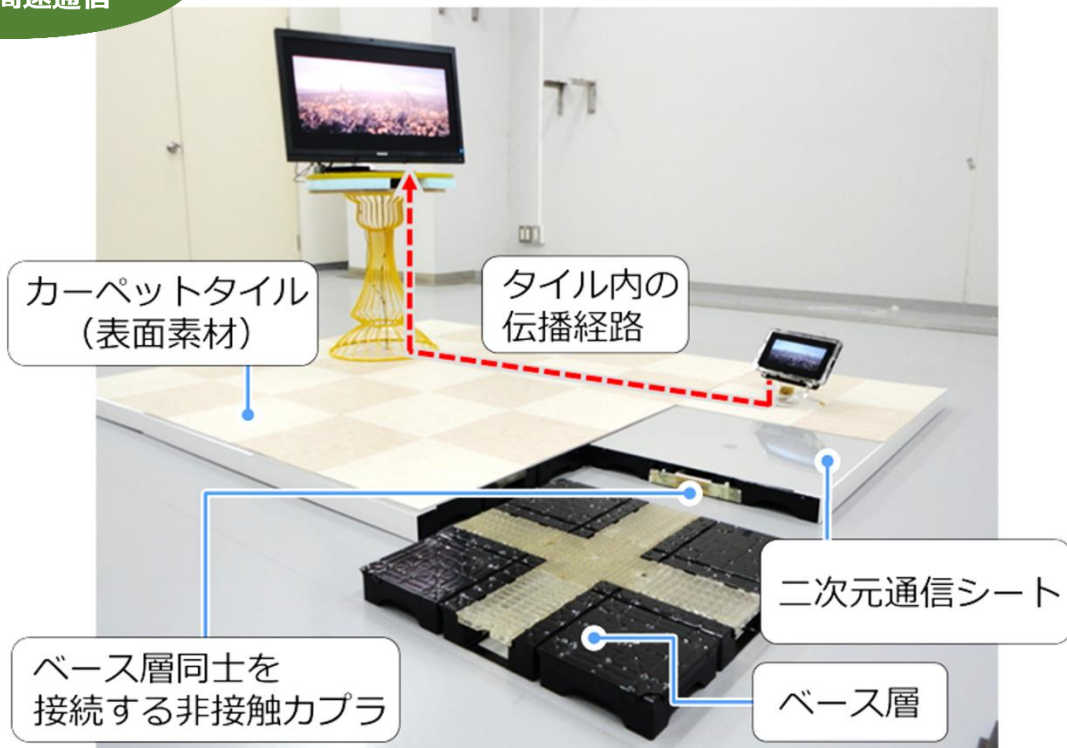
STEP1. INSERTION  
MANUAL CONTROL







Easy installation  
2DC Tile environment



# 回路学第一 講義内容

1. 回路とは？ 何を学ぶのか？
2. 物理とシステムをつなぐ「等価回路」
3. 線形システム・電力・電源
4. 増幅回路とオペアンプ
5. オペアンプの応用回路
6. スイッチング回路とその応用
7. DA変換器とAD変換器
8. 共振回路、フィルタ、変復調回路

電子回路はどこに使われているか？

センシング：

外界の情報を電気信号に変換する

アクチュエーション：

電力を用いて外界に働きかける

情報の処理：

コンピュータ、FPGA\*、アナログ信号処理

\*field-programmable gate array

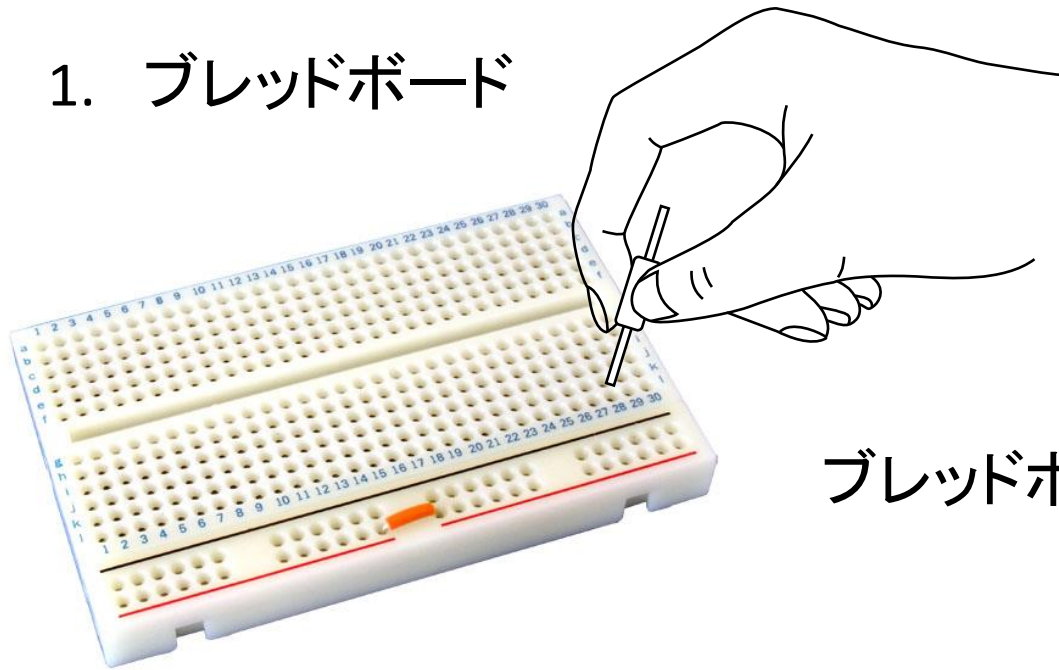


## なぜ回路を学ぶのか

1. 等価回路を通して物理を理解し、システムを設計する
2. 先端的研究において回路の自作が必要
3. 回路設計・製造の専門家になるため

回路を作ってみようと思い立ったら、、、

## 1. ブレッドボード

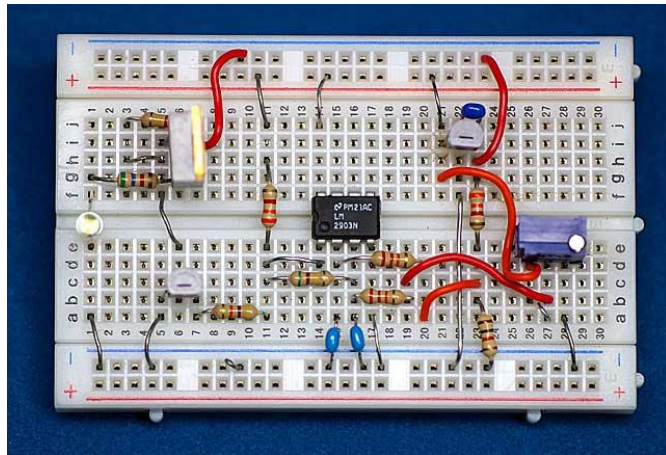


ブレッドボードによる回路の限界

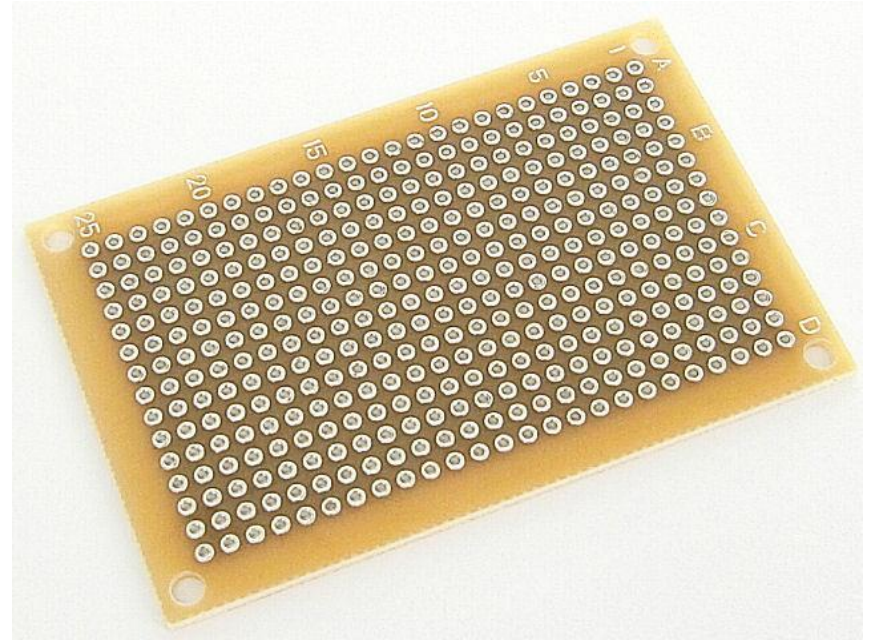
扱う電流、電圧が

低周波数  
微弱でない  
大電力でない

場合に限られる

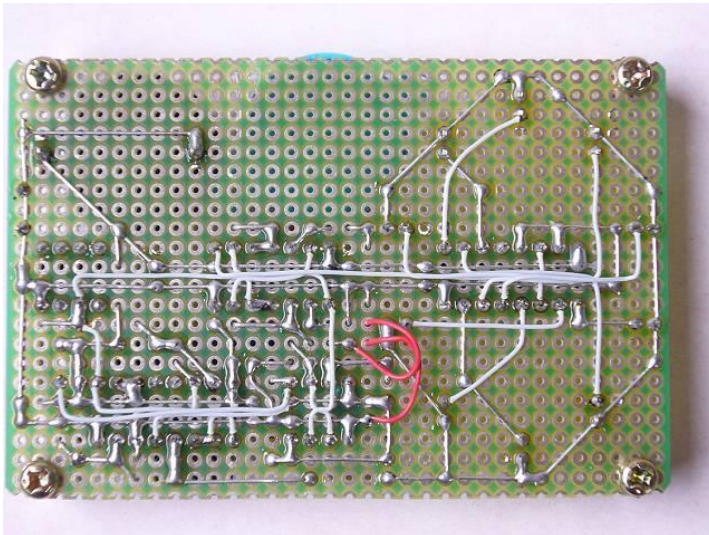


## 2. ユニバーサル基板 + はんだ付け

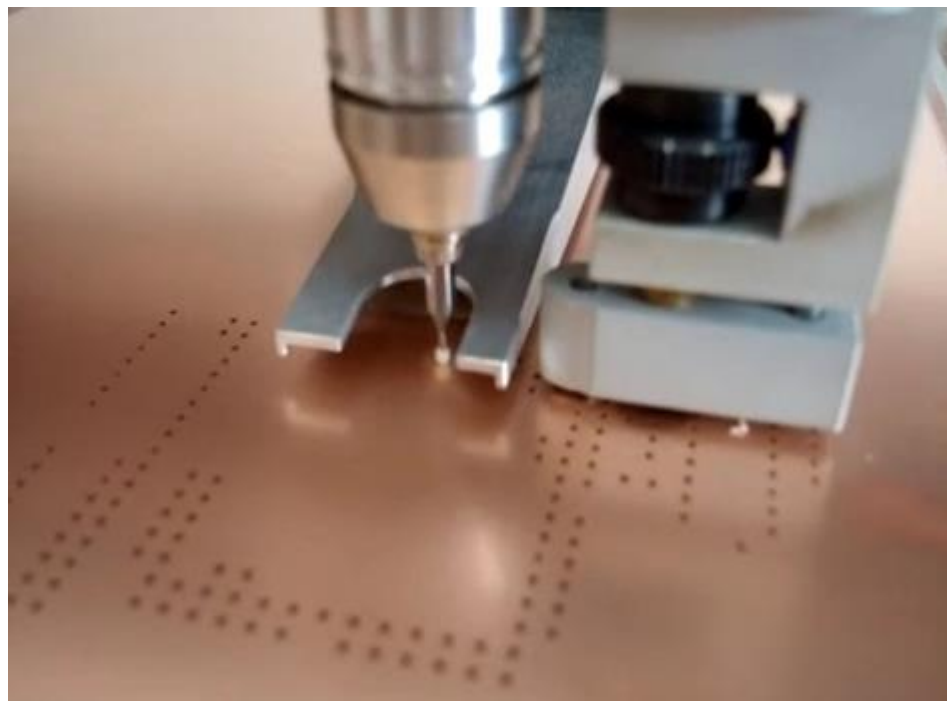
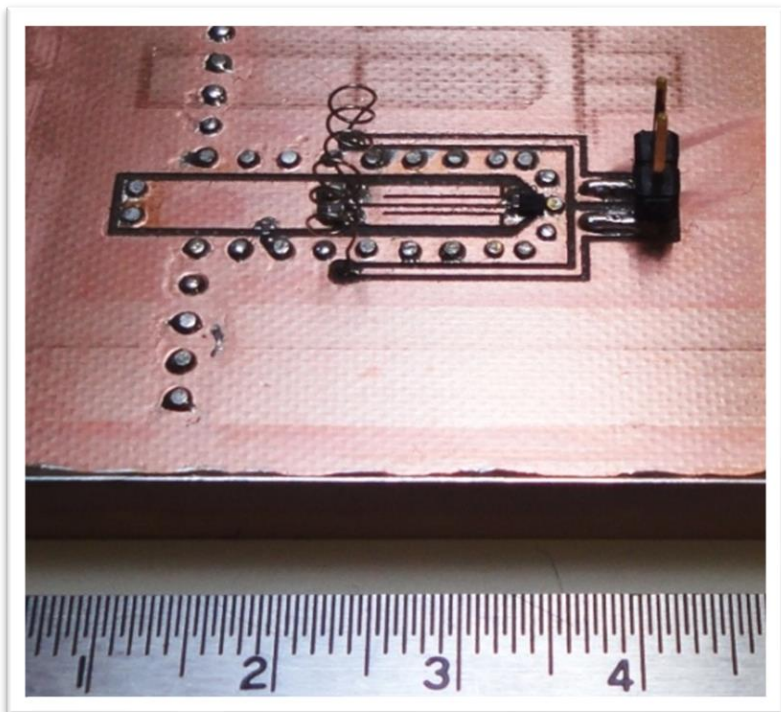


ユニバーサル基板

\* 写真の基板の穴の間隔は 2.54mm



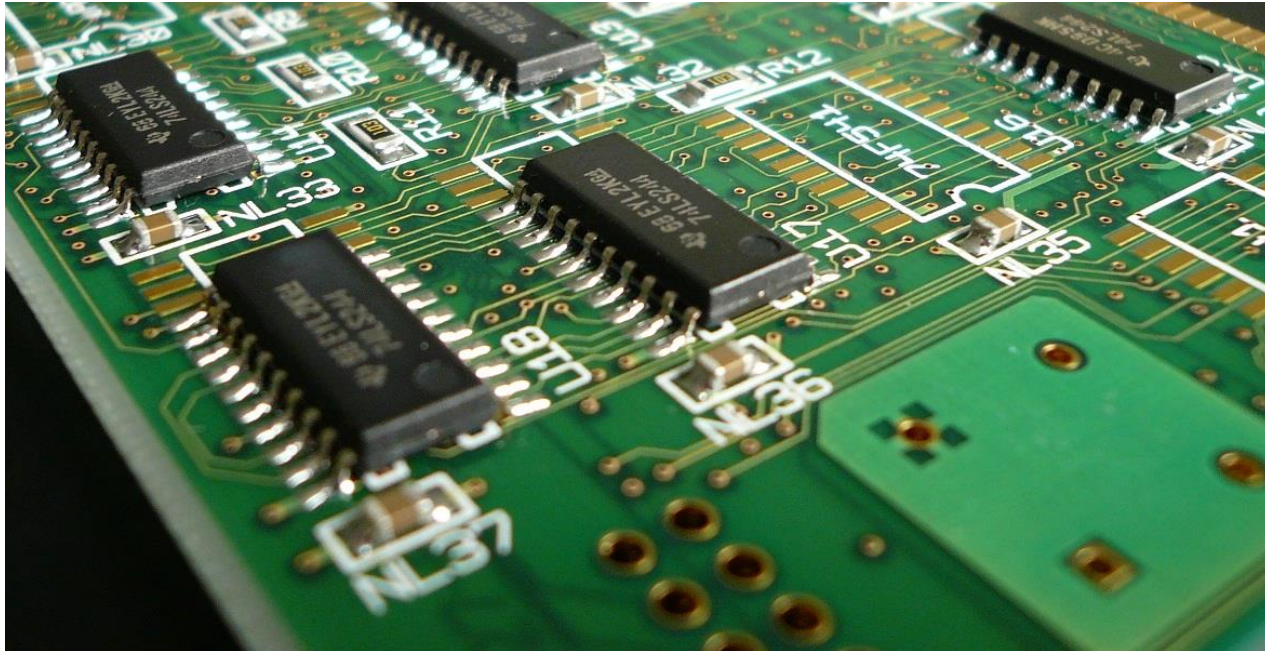
### 3. 基板加工 + ハンダ付け



<https://www.youtube.com/watch?v=uhiIHqyx44E>



## 4. 多層基板 + 表面実装



標準的フォーマットでデータを送れば加工してもらえる

部品の取り付けもやってもらえる

そのまま製品製造もできる

# 回路が完成するまでの道筋

典型的な開発の流れ

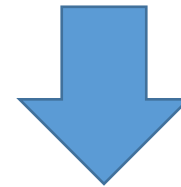
基本構想



回路シミュレーション

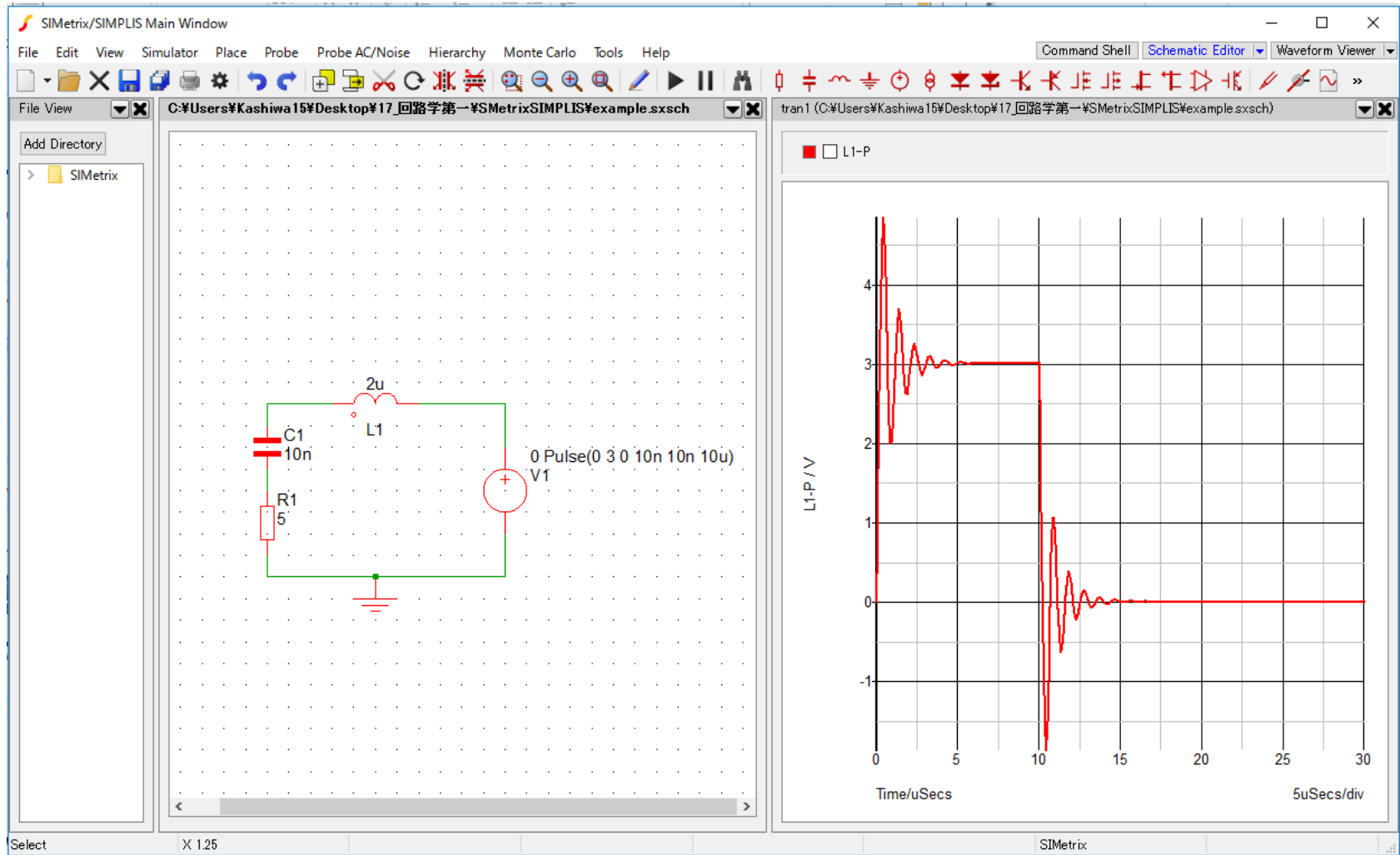


基板設計（シミュレーション）



基板製造、実装

# 無償版 CAD も利用可能 ( LTspice など)

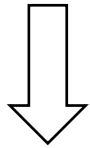


上の例は SIMetrix/SIMPLIS

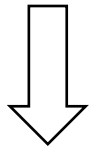


# ある機能を(すぐに)実現したい！

パソコンで直接制御できるならまずパソコン（+インタフェースボード）で

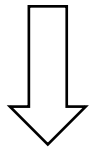


リアルタイム性が必要  
組み込みが必要



→ マイコンを利用

演算速度が足りない  
並列演算が必要



→ FPGA (field-programmable gate array) を利用

上記で足りない部分

→ アナログ回路の利用、開発



Arduino

# アナログ回路が必要な場面

高い周波数の信号を扱いたい

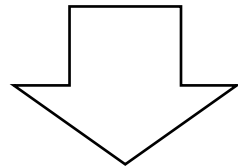
微弱な信号を計測したい

高電圧 または 大電力で駆動したい

- 演算や信号処理はデジタル演算で行う方がよい場合がほとんど
- センシングとアクチュエーションのフロントエンドでアナログ回路が必要

# デジタル回路の設計フロー

ハードウェア記述言語 (Verilog, VHDL) で論理演算を記述

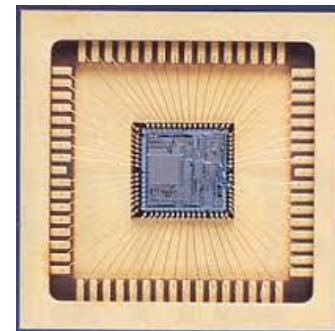


シミュレータで検証

FPGA であればここで終了

このままカスタム LSI (ASIC) 化に進むことも可能

FPGA の例



## Verilog 記述例

```
//
// 表題 イネーブル付20段カウンター
//
module Div20x (
    // ポート宣言(外部から本モジュールへの接続を定義する)
    input clock, // クロック
    input reset, // リセット(正論理, ハイアクティブ)
    input cet, // カウンターとTC出力のイネーブル
    input cep, // カウンターのみのイネーブル
    output reg [size - 1:0] count, // 束線を示す。この場合5bit幅
    // alwaysまたはinitialブロックでドライブする信号は
    // reg型でなければならない
    output tc); // regと明記していない、他の信号はwire型。
    // ポート宣言したwire型信号のネット宣言は省略可能であり、省略することも多い。

// パラメータ宣言
parameter length = 20; // カウント段数
parameter count_zero = 5'b00000; // 5bit幅,2進数の0を表す
parameter count_one = 5'b00001; // 5bit幅,2進数の1を表す
parameter size = 5; // bit幅,基数の指定を省略すると32bit,10進数になる。

// always文。resetやclock信号の変化に同期し並列に実行される
always @ (posedge clock or posedge reset) begin
    if (reset) begin // 非同期リセット
        count <= count_zero;
    end else begin
        if (cet || cep) begin // イネーブル
            if (count == length - 1) begin
                count <= count_zero;
            end else begin
                count <= count + count_one;
            end
        end
    end
end

// assign文。tcの値は実行中、継続的に値が与る
assign tc = (cet && (count == length - 1));
endmodule
```

## 代表的な回路要素(機能の面から)

各種の抵抗変化型センサ、容量型センサ

各種のアクチュエータ(発光素子やディスプレイを含む)

---

AD 変換器、DA 変換器

---

増幅器

発振回路

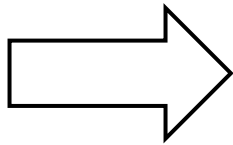
フィルタ

スイッチ回路、PWMドライバ、レギュレータ

# 回路は楽しい

## つまずきの原因

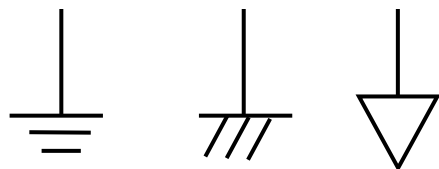
1. 回路図通りに作っても動かない
2. 回路図を見てもよく分からない



1. 回路図に書かれていない要素が存在する  
浮遊容量、インダクタンス
2. 回路図を見てもよく分からない  
省略が多い  
方言が多い

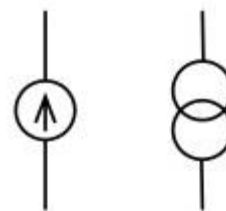
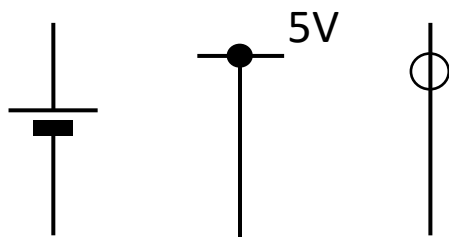
# 「方言」の例

グラウンド、グラウンド、GND



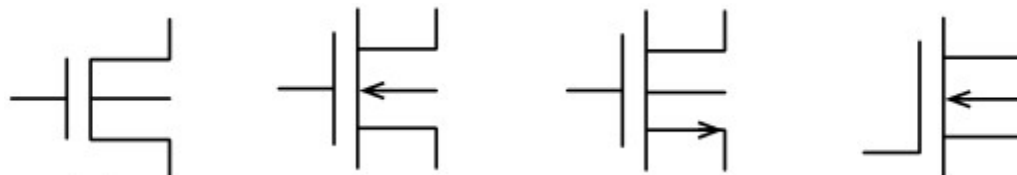
そもそもグラウンドって何？

電源



(電流源)

MOS FET





# キルヒホッフの法則

## 第一法則(電流則、節点法則)

任意の節点に流入する枝電流の代数和は0である。

### 【注意】

キルヒホッフの法則は現実の導線に対する「物理法則」ではない。

複数の導線を接続した物理的な節点において、導線を通して流れ込む枝電流の代数和が(厳密には)ゼロにならない場合もある。それにもかかわらず回路学は回路の振る舞いを正確に記述できる。

これはどういうことだろうか？

## 第二法則(電圧則、閉路法則)

任意の閉路において、閉路に沿った枝電圧の代数和は0である。したがって、(電流源を通らない)閉路において、電圧源の起電力の代数和は電圧降下の代数和に等しい。

電源、素子のインピーダンス、それらの相互接続を表す回路グラフが与えられると、上記キルヒホッフの法則を適用することによって回路の電流、電圧は一意に定まる。

## なぜ回路を学ぶのか

### 1. 等価回路を通して物理を理解し、システムを設計する

- 自分の考えている現象を回路に帰着させる
- 回路について得られている有効な知見を活用

### 2. 先端的研究において回路の自作が必要

- 代表的な(入手が容易でパワフルな)ツールを知る
- 現実の回路を思った通りに動作させる

### 3. 回路設計・製造の専門家になるため

## 回路学第一を自習するための教科書

### 1. 標準的な「電気回路」の教科書

インピーダンス、電力、4端子回路(二端子対回路)について説明していて、自分にとって理解しやすいなもの

### 2. 信号処理の教科書

+ フィードバックについて説明してある制御の教科書

「周波数特性」「フーリエ変換」「インパルス応答」

### 3. オペアンプ、スイッチング回路について書かれている教科書