

回路学第一

第1章

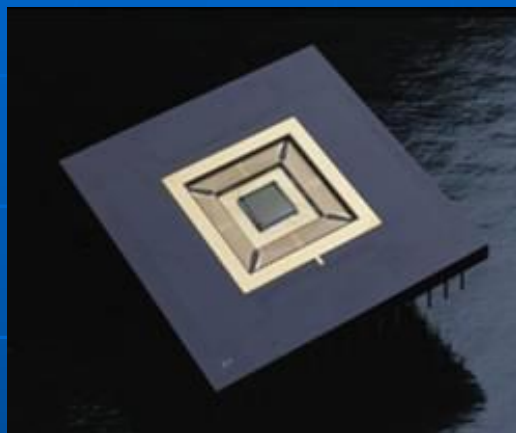
回路とは何か？ 何を学ぶのか？

計数工学科 篠田裕之

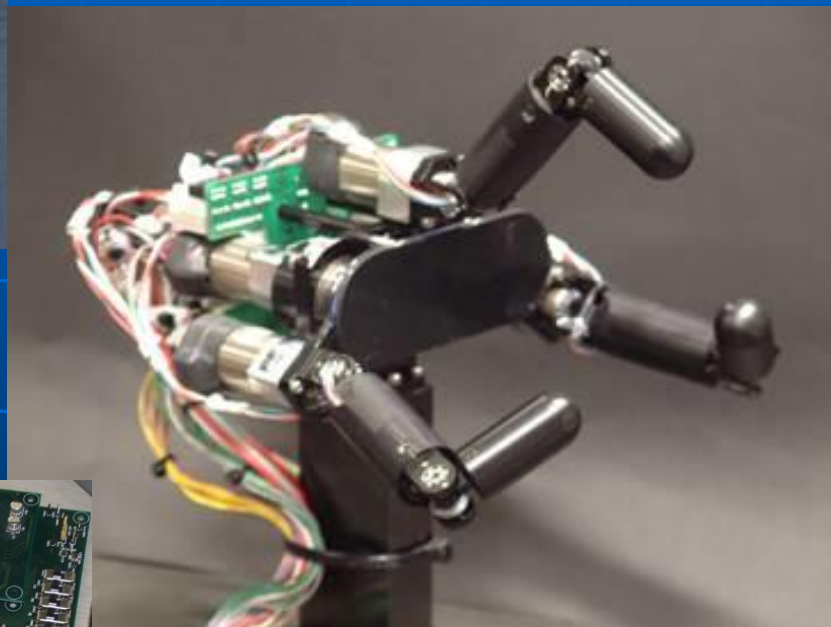
<http://www.hapis.k.u-tokyo.ac.jp/>

知能を実装した先端的システム

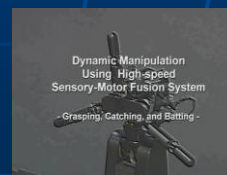
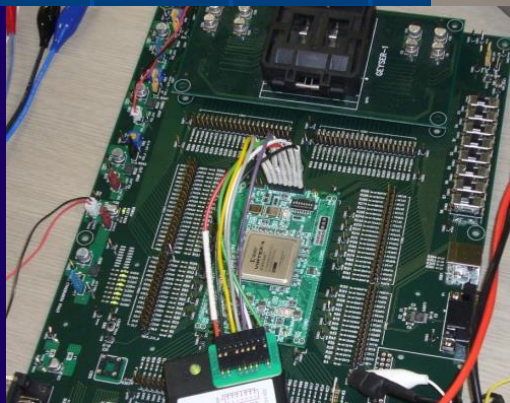
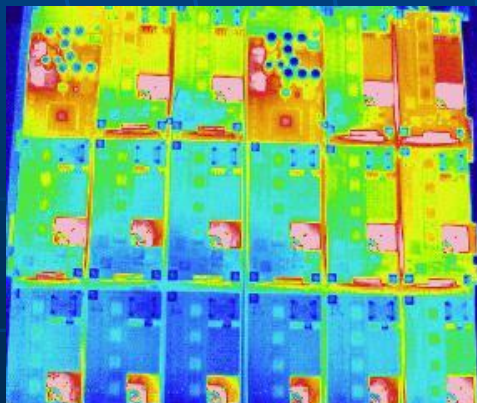
センサ



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

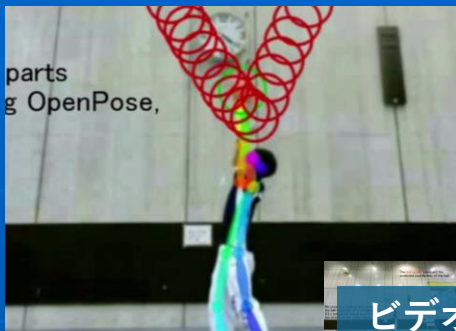


ビデオ 1



ビデオ 2

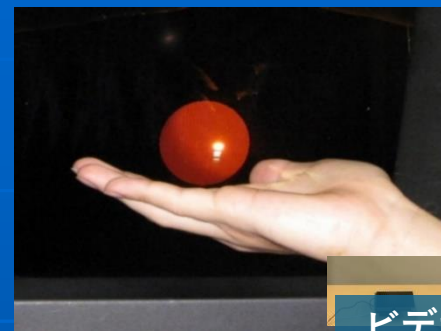
センシングとVR/ヒューマンインタフェース



人間の動作予測

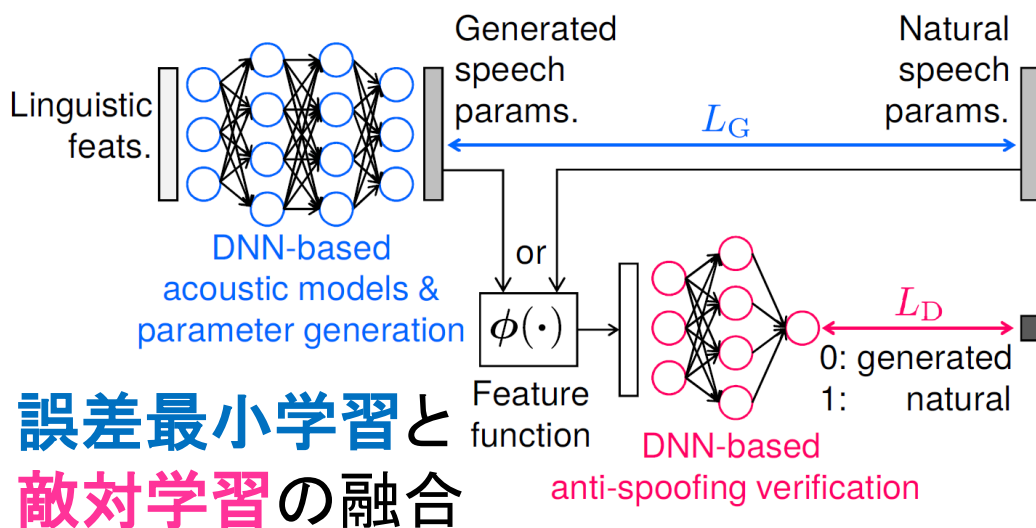


第3・第4の腕



さわれるホログラフィ

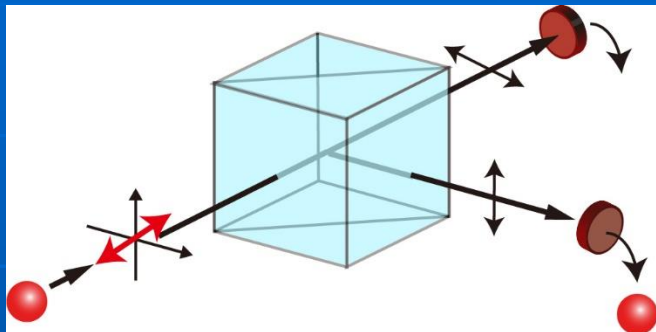
敵対的DNN音声合成



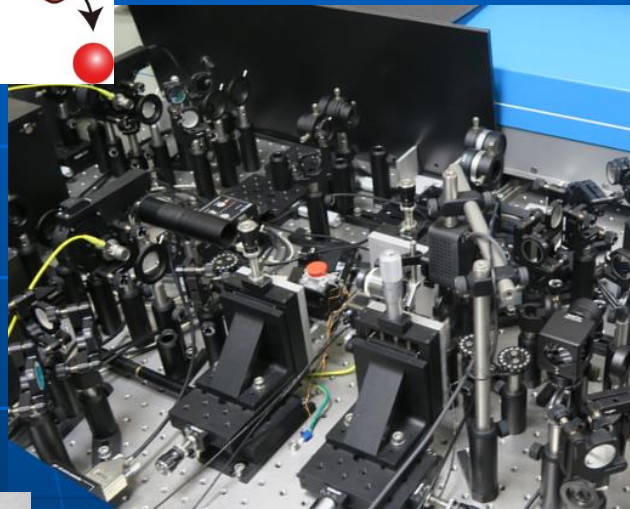
リアルタイムDNN音声変換



物理情報学



一個の光子が意思決定



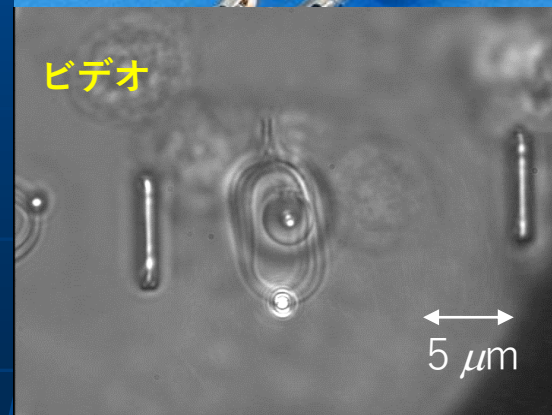
バイオ化学ICチップ



遠隔微細手術ロボット



ブレイン・マシン
インタフェース



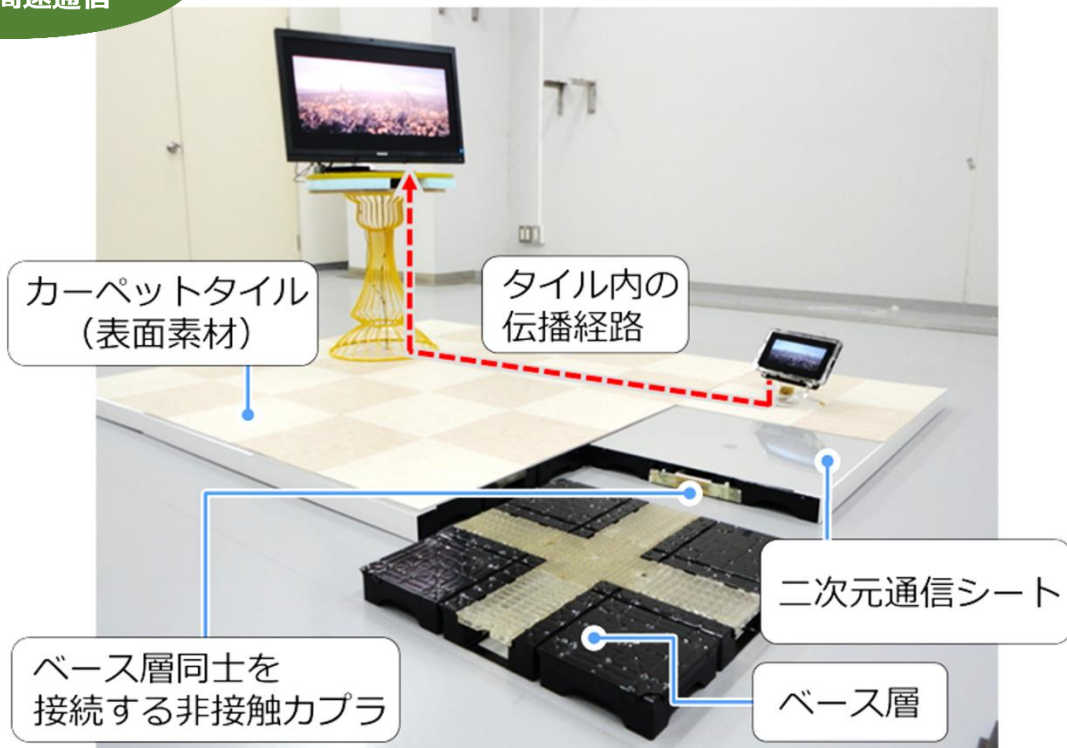
ビデオ

5 μ m

PC12細胞の移動



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

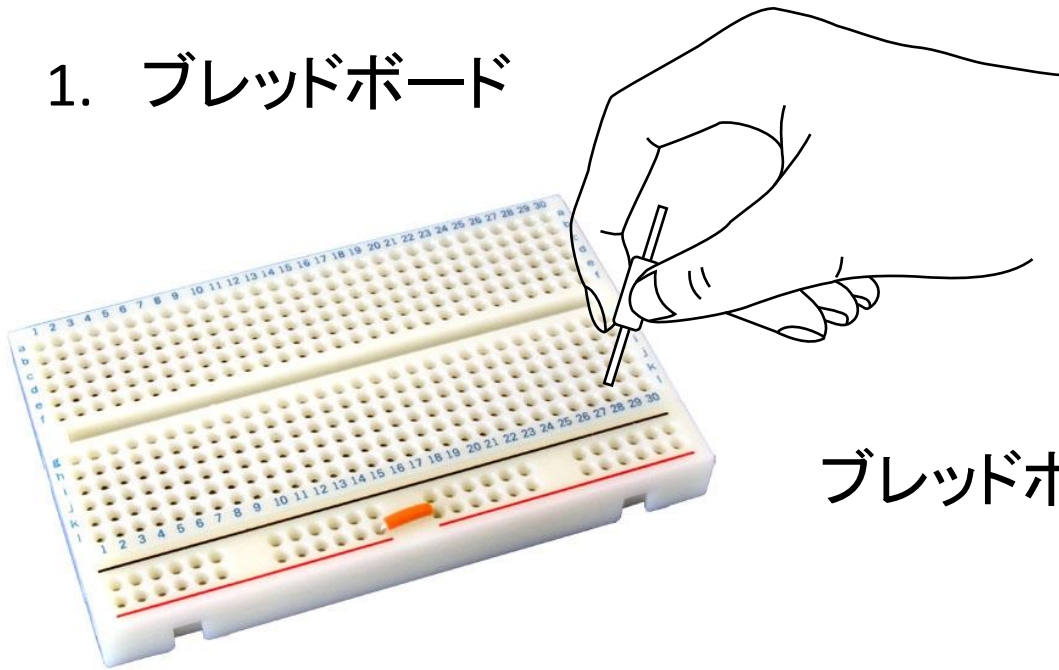
*field programmable gate array

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

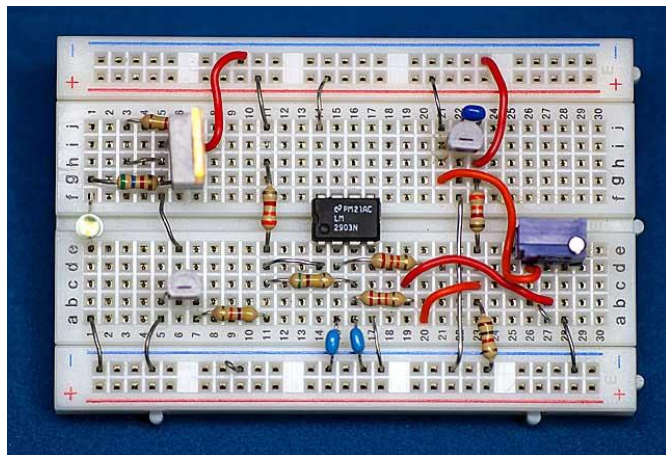


ブレッドボードによる回路の限界

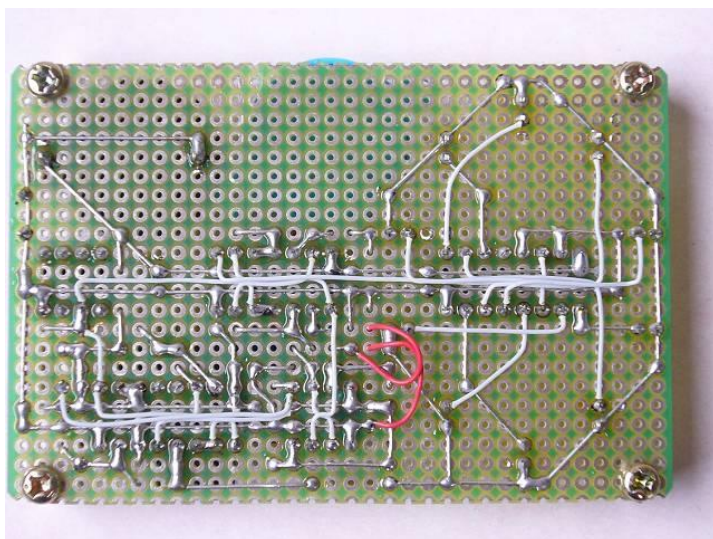
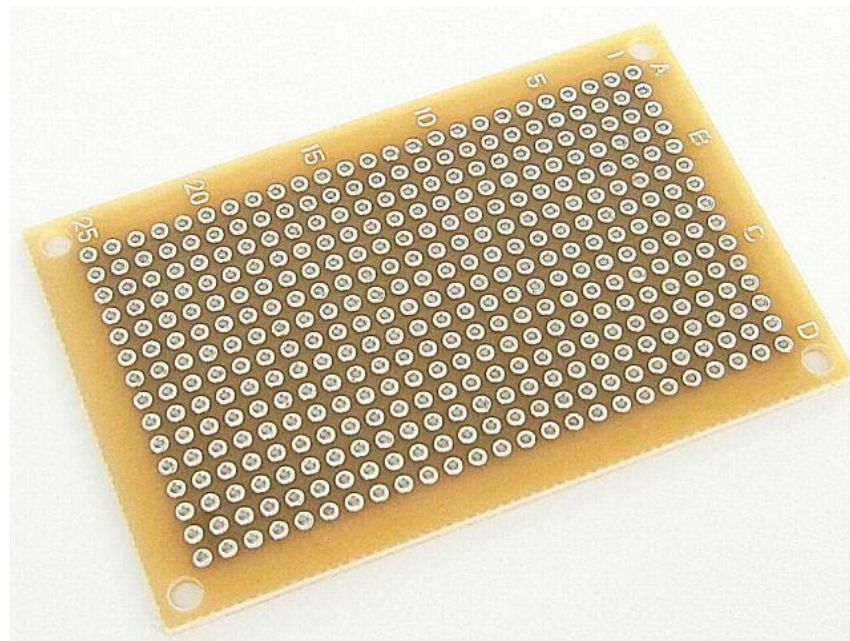
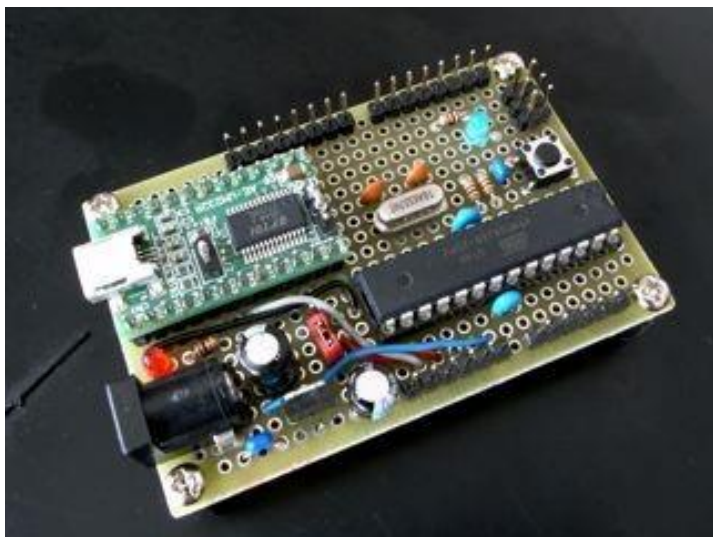
扱う電流、電圧が

低周波数
微弱でない
大電力でない

場合に限られる

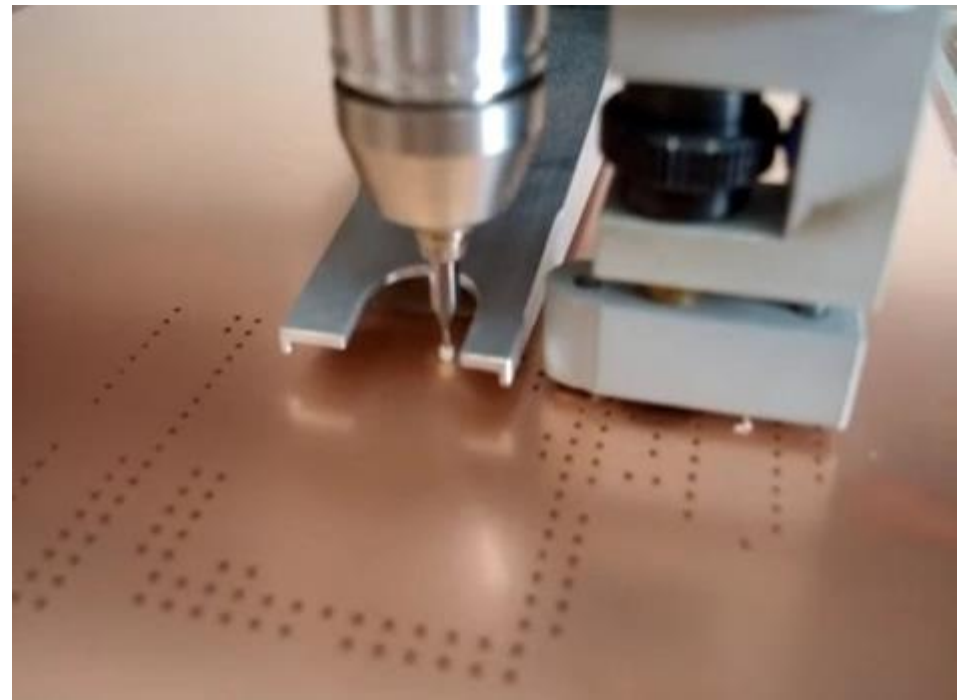
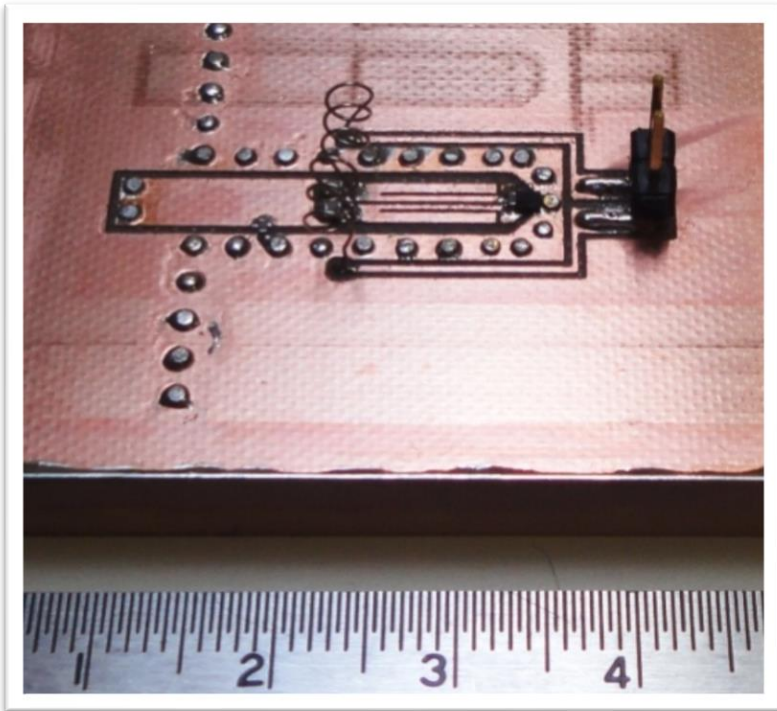


2. ユニバーサル基板 + はんだ付け



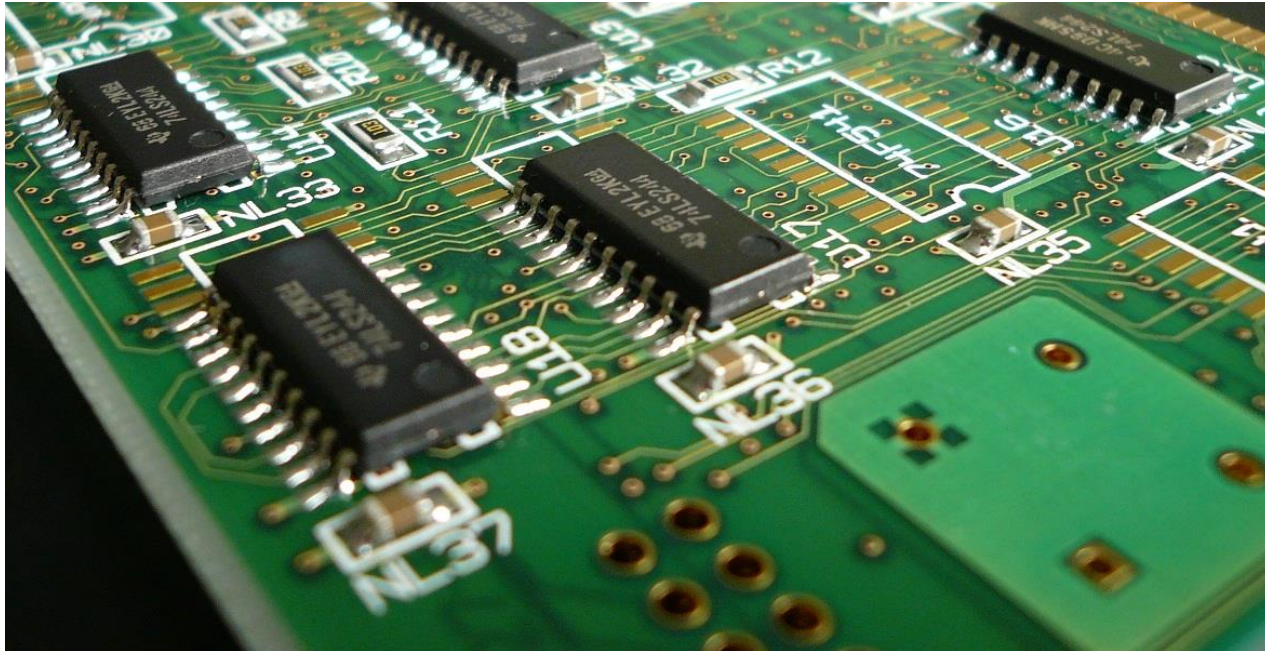
ユニバーサル基板

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

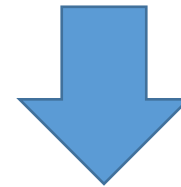
基本構想



回路シミュレーション

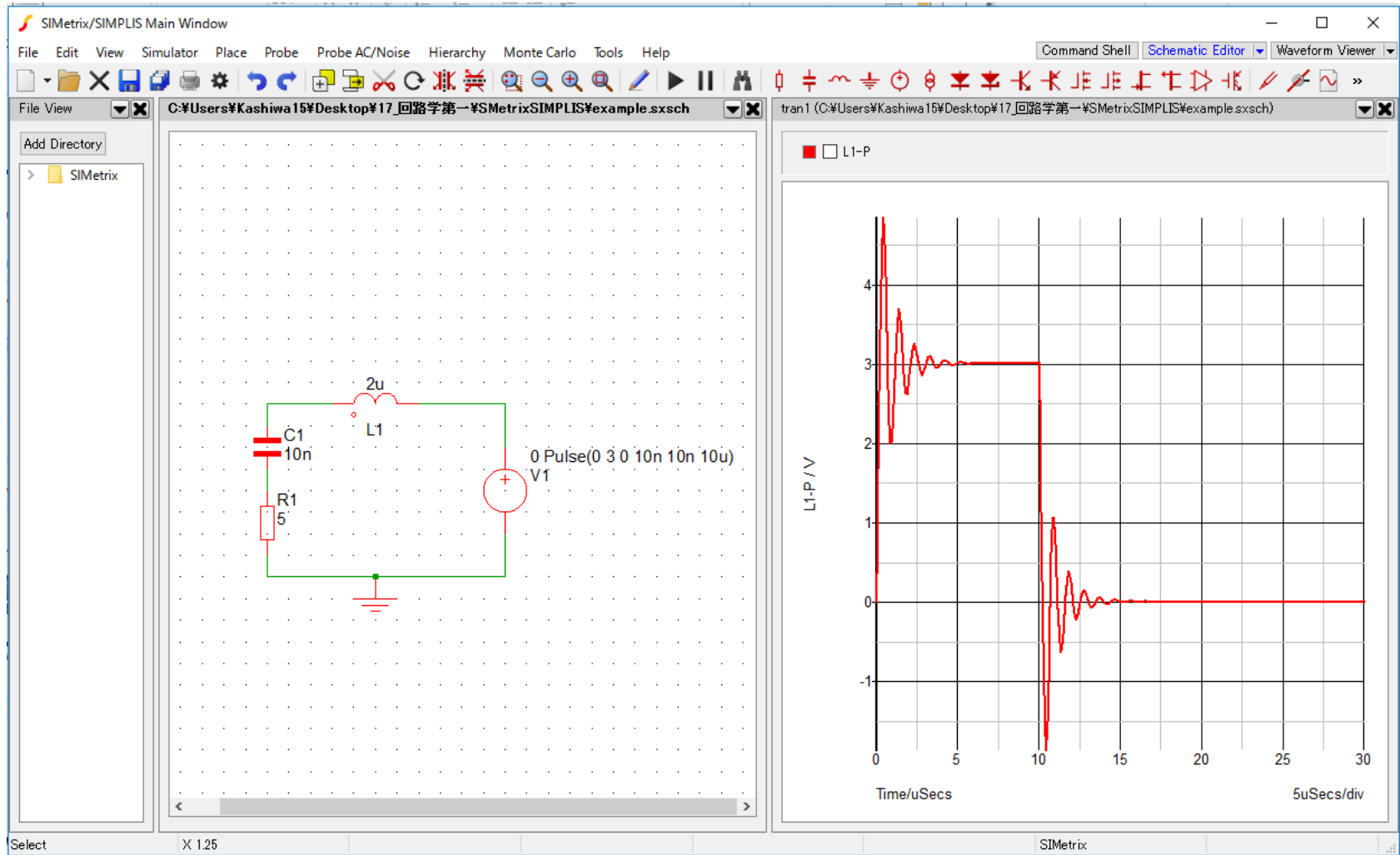


基板設計 (シミュレーション)



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（+インターフェースボード）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 *参照「FPGA用語集 FPGAの基礎その1」で検索

→ 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

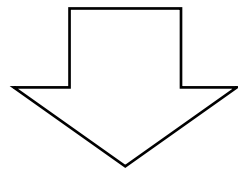
微弱な信号を計測したい

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

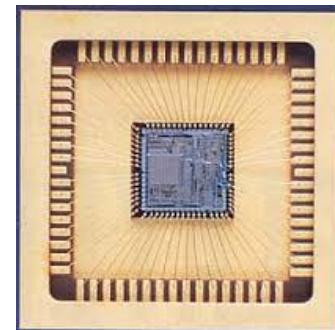


シミュレータで検証

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

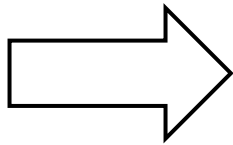
フィルタ

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

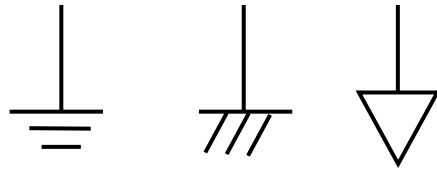
1. 回路図通りに作っても動かない
2. 回路図を見てもよく分からない



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

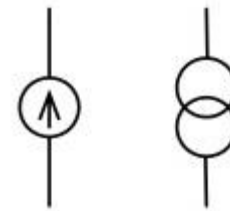
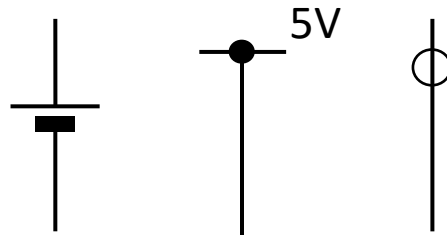
「方言」の例

グラウンド、グラウンド、GND



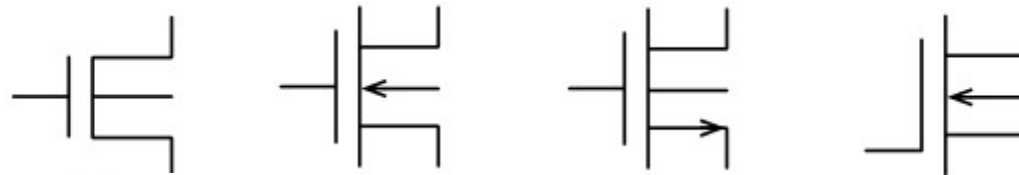
そもそもグラウンドって何？

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？

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