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

C19/Rev 1.1

第19回

プリント基板の基礎と設計・試作

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

○ 電子回路用プリント基板の概要

テーマ１:プリント基板の基礎

- 基板の目的、構造、用語など
- 基板の独自開発の意義

テーマ２:プリント基板設計の概略

- 回路図＋基板CAD
- 設計のフロー と 個別の作業

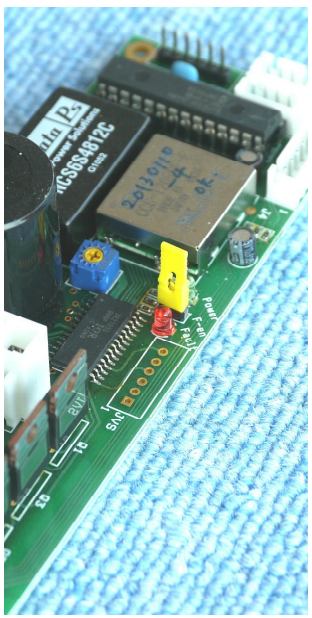
テーマ３:プリント基板の試作と実例

- 外注 と 内製（エッチングと機械加工）

プリント基板とは

○ 電子回路構築の重要要素

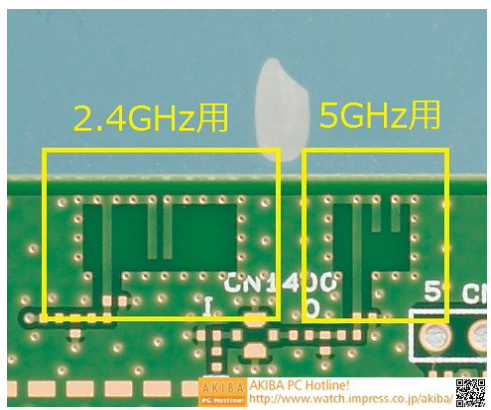
◇用途・目的



・回路を構成する電子部品同士の電気的な接続。

・部品の機械的な配置、固定。

・特殊な例：
高周波数回路を形成
アンテナ

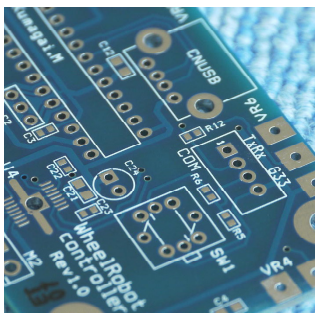


NECアクセステクニカ製無線ルータ
AKIBA PC Hotline より引用

プリント基板とは

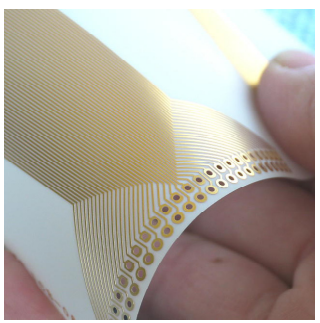
○ 電子回路構築の重要要素

◇構成



・絶縁板上に薄い導電膜によって形成した回路の配線。

・一般には固い絶縁板上に銅の薄膜。



・その他の構成：
柔らかい絶縁板(フレキシブル基板)
銅以外の材料で生成、導電塗料なども。

プリント基板とは

○ 電子回路構築の重要要素

◇なぜ「プリント」なのか？

- 明確な由来は見かけておらず。
- 製造工程に「印刷」をつかう箇所はあるが、回路そのものをプリントするわけではない。

← 回路構成の加工であるエッチングの前に保護層を印刷するなど

プリント基板とは

○基板に使われる単位

◇寸法（幅や間隔、直径など、長さ全般）

- 1 mil（ミル）＝ 1/1000インチ ＝ 25.4μ

  基板設計の基本寸法。

◇銅箔の厚さ

- 1 oz（オンス）＝ 35μm

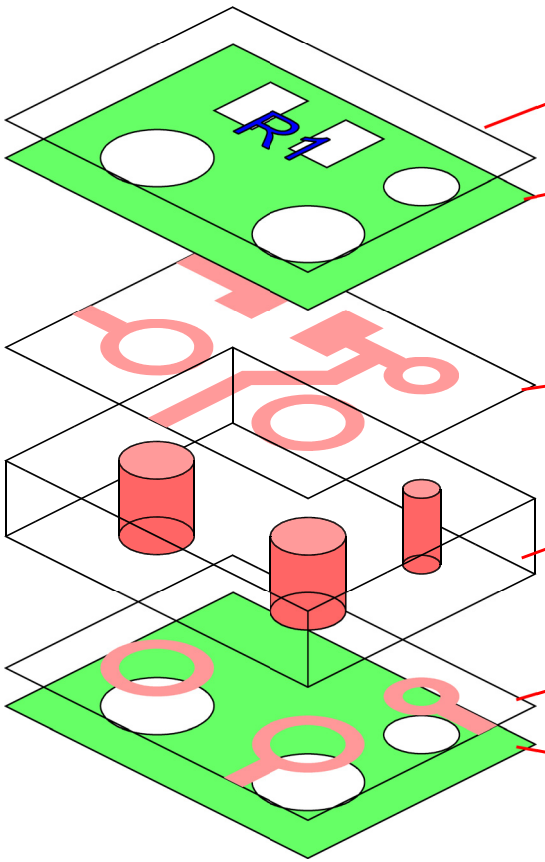
  本来、オンスは重さの単位。

  １平方フィートあたりで何オンスか？

  参考：紙の厚さのg表示

プリント基板の構造・構成

○ 一般的な両面基板の構成



シルク表（部品番号など）

レジスト表（保護皮膜：緑）

パターン表 （銅箔面）

絶縁板＋穴＋スルホールメッキ

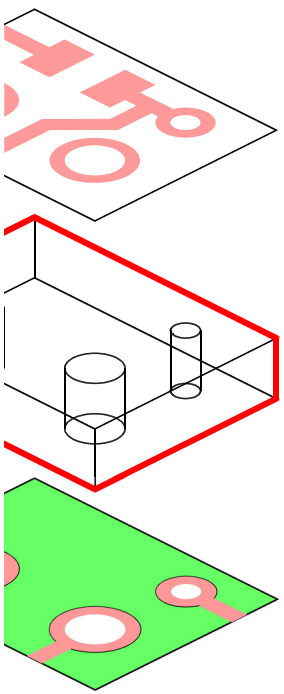
パターン裏

レジスト裏、シルク裏

プリント基板の構造・構成

○ 一般的な両面基板の構成

◇絶縁体基材

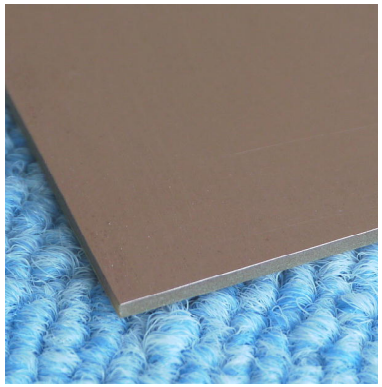


・基板の基板、構造、強度を担当。

・材質：エポキシ樹脂　フェノール系樹脂
＋ガラス繊維、紙などの複合材
セラミック類など
一般的にはガラスエポキシ基板(FR-4)

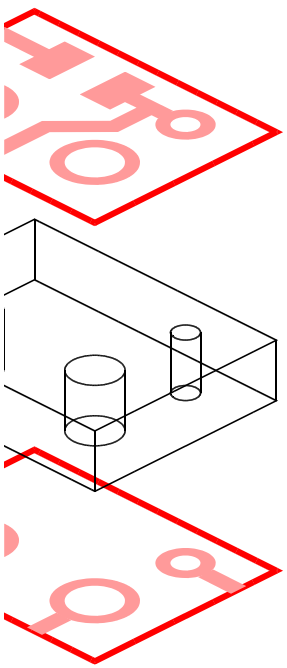
・素材によって絶縁特性、堅さ(そり易さ)、
高周波特性、熱伝導性、コストなど異なる

プリント基板の構造・構成



○ 一般的な両面基板の構成

◇銅箔



・配線 および ハンダ付け場所 を構成。

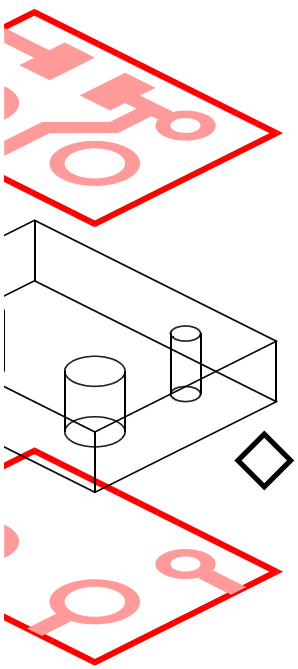
・全面に銅箔が貼られた基板(生基板)から
不要部分を除去して、配線部分を残す。

※除去方法：エッチング(化学反応)、機械加工

・標準の厚さは「1oz」=0.035mm
オプションで2oz(0.070)、3oz、0.5ozなど
電力用には厚いものが使えるが限度有り。

プリント基板の構造・構成

○ 一般的な両面基板の構成



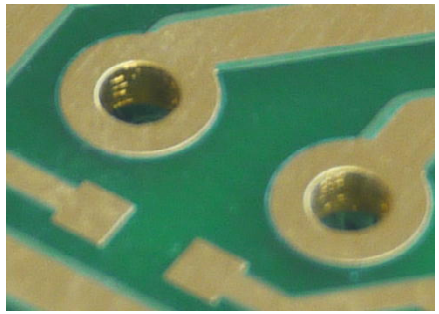
◇銅箔：ランド、パッド

・部品を搭載し、ハンダ付けするための場所
・円形・矩形・長円形など （＋穴）
・大きさや形状は、部品寸法や電流値、
　強度などを考慮している。

◇銅箔：トラック(配線)

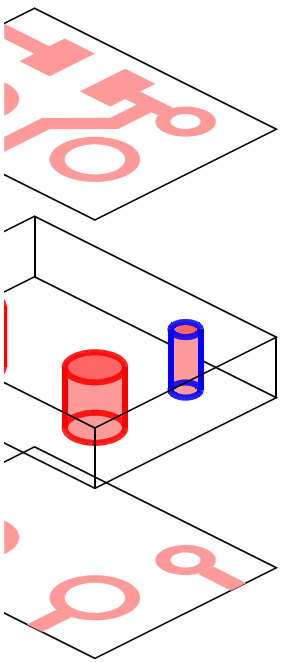
・ランド・パッドをつなぐ配線部分。
・幅は製造技術、電流の大きさなどを考慮。

プリント基板の構造・構成



○ 一般的な両面基板の構成

◇穴 （スルホールメッキ＝導電性）



・スルーホール

部品を通してハンダ付けする。

・ビア（via）

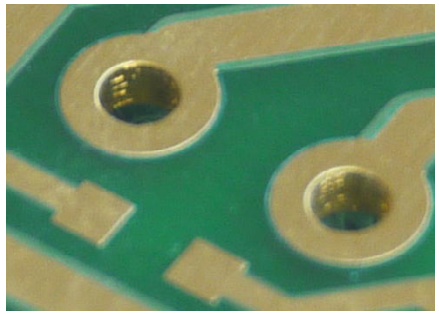
回路配線を両面でつなぐことが目的。

※と、区別されることが多いが構成は同一

◇穴 （メッキ無し）

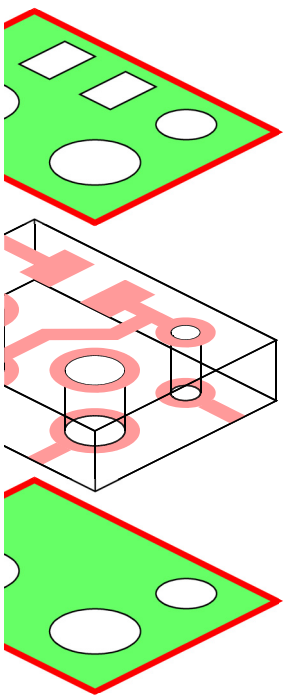
・基板そのもの、コネクタの取り付けなど

プリント基板の構造・構成



○ 一般的な両面基板の構成

◇レジスト（ソルダマスク）



・ハンダ付け時に不要な付着を防ぐ。

（ハンダをはじくのでブリッジしにくくもなる）

・銅箔を保護する。

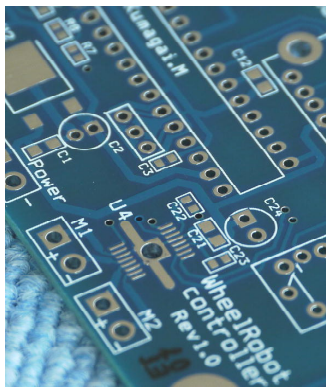
（銅は放置するとすぐに酸化する→最悪は配線切れ）

・基板が「緑に見える」理由。

（ガラエポは白っぽく、銅は銅色）

近年は青、赤、黒など選択肢あり。

プリント基板の構造・構成



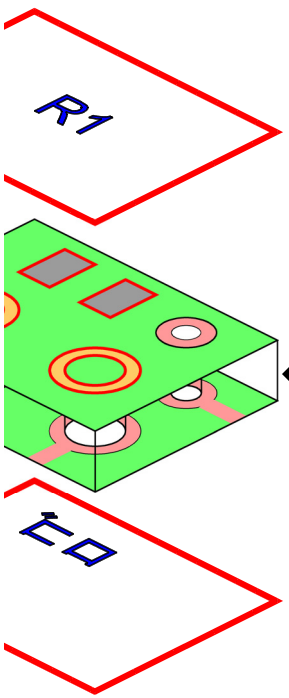
○ 一般的な両面基板の構成

◇シルク印刷

・基板上の白い印刷

・基板上に部品の位置や番号を入れる。

・黄色、赤、黒など選択肢もあり。

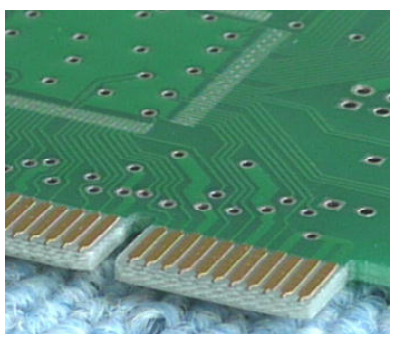


◇メッキ仕上げ

・ハンダメッキ（ハンダレベラー）

・金メッキ（金フラッシュ）

ランド、パッド部の保護や濡れ向上、端子

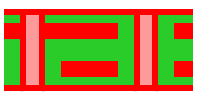


プリント基板の構造・構成

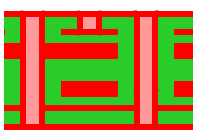
○ 層数のバリエーション

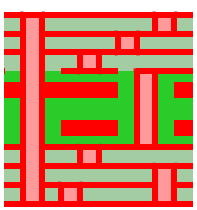

◇片面基板　：簡単、低コスト

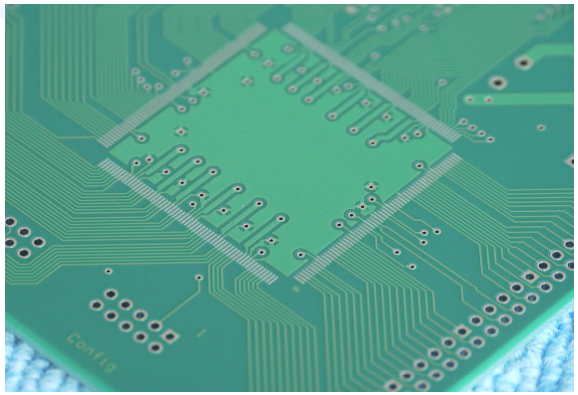

◇両面基板　：一般的


◇4層基板　：大規模デジタルなど

配線2層＋電源2層


◇6層基板　：4層では収まらない高密度な基板

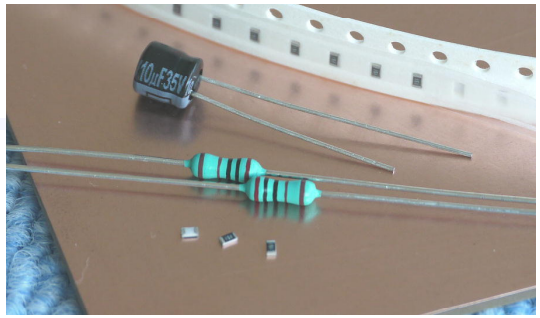

◇多層基板　～20層以上　：密度最優先



4層基板の例

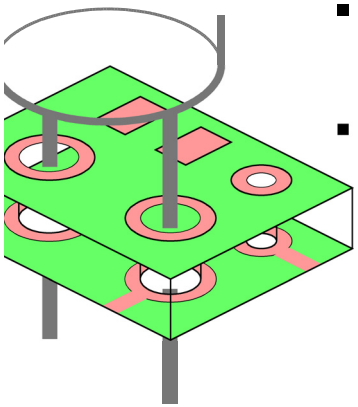
このあたりまで
一般的

搭載する部品の形状



○ スルホール部品

◇旧来からある、「足」のある部品

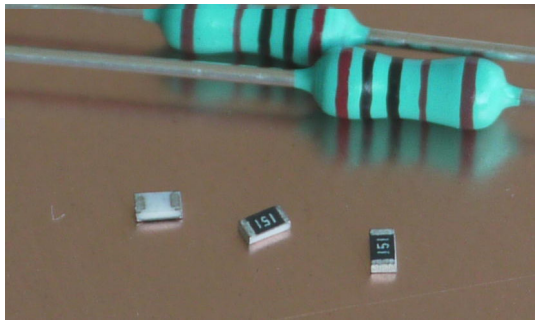


・一般には穴に挿入してハンダ付け。

・特徴：

- ○ 扱いやすくハンダ付けしやすい(?)
- ○ 破損時に交換しやすい。
- × 基板上のサイズ大＝小型化不向き。
- △ 今はあまり自動実装向きではない。

搭載する部品の形状

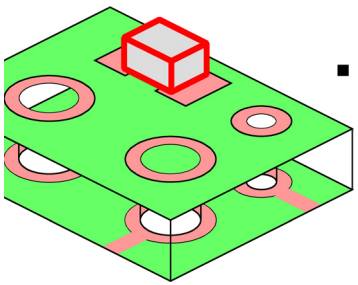


1.6x0.8mm

○ 表面実装部品

◇「足」のないor「足を曲げてある」部品

・基板の表面にハンダで貼り付ける。



・特徴：

× 人手でのハンダ付けは難～不可能。

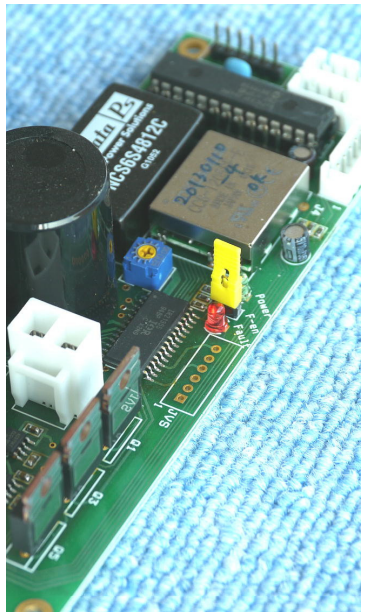
○ 慣れると抵抗類はハンダが楽。

× 交換がきわめて困難なもの多い。

◎ 高密度実装向き

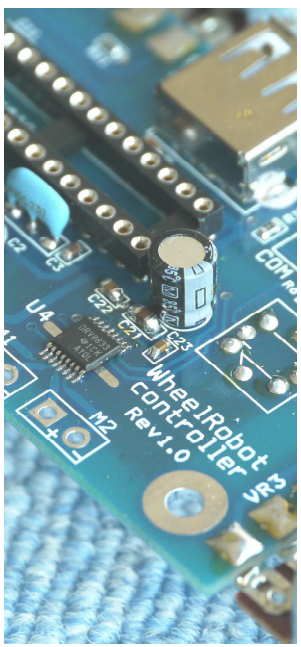
◎ 自動実装技術の進展で量産性良

搭載する部品の形状



○ 熊谷研の選定基準 （参考）

→基本的に手でハンダ付け



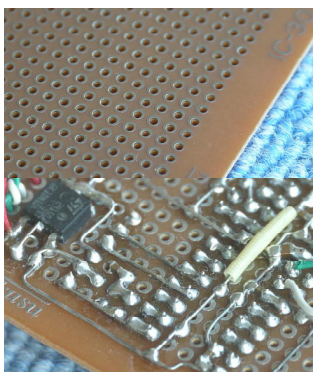
・抵抗、セラミックコンデンサ、
多くの半導体部品は表面実装
（手が無理な表面実装は選定せず）

・電力部品 （放熱板取付、破損交換）
マイコン （差し替える場合あり、＋ソケット）
電解コンデンサ、LED、コネクタ類
は スルホール部品

プリント基板を設計・製作する意義

○ 独自基板を使わない場合：

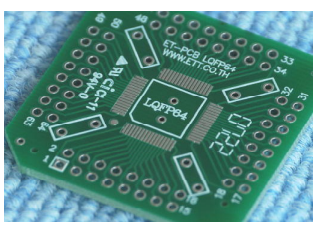
◇ユニバーサル基板 （蛇の目基板）



・等間隔(2.54mm＝100mil＝0.1インチ)に穴のあるランドが配列された基板。

・部品をハンダ付けし、錫メッキ線、絶縁電線、ハンダなどでつないで配線。

◇各種変換基板



・表面実装部品を2.54mm間隔に変換する。

・どうしても、その形状の部品を使うとき。

プリント基板を設計・製作する意義

○ 独自基板の意義 （手でハンダでも）

◇量産性

・慣れれば、２枚からでも効果有り
＝配線を１本１本することは、
画面上で線を引くよりもつらい。

◇部品の制約が低減

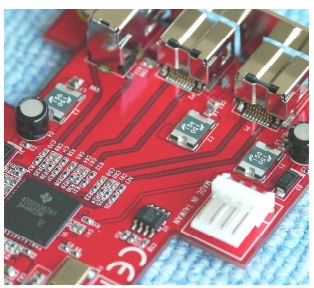
・使いたい部品に表面実装しかない場合。
・サイズをコンパクトにしたい場合。
（手で配線のほうがコンパクトな場合もあり）

プリント基板を設計・製作する意義

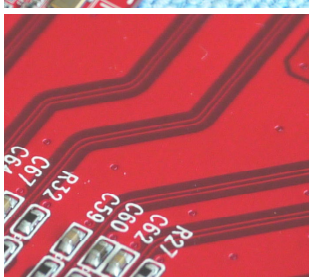
○ 独自基板の意義 （手でハンダでも）

◇信頼性

・回路図との整合性がとれる。
＝基板設計、組立段階の誤配線がない



・作り手の技量によらず、安定する。
（見た目も含めて）



・回路に再現性がでる(不具合含めて)。

・(上級者になれば)配線の電気的特性の
コントロールもできるように。

プリント基板を設計・製作する意義

○ 時間がかかる

◇回路設計・基板設計

- 「らくがき」だけでは回路を組めない。
- かかる時間は慣れ次第。

※なれても、1個なら余分にかかる

- いつまでも配線を改良したくなる。

◇基板製作の時間（後述）

- 外注すると2，３日(特急)～３，４週(最安)
- 基板加工機、エッチングをつかうと即日。

プリント基板を設計・製作する意義

○ どこまで内製するか

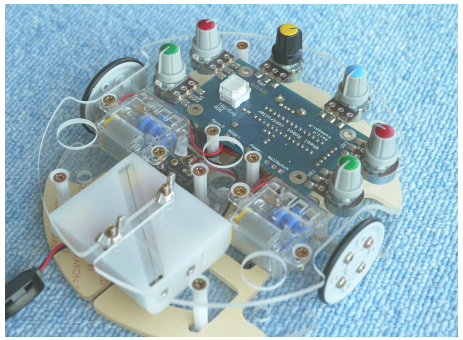
	単価	信頼性？	手間・時間	柔軟性
・すべて外注	×	○?	○?	×
・回路図起こしから外注	×	○?	◎	×
・パターン設計から外注	×	○?	◎	△
・基板製造を外注	○	○?	×	○
・基板製造を内部	○?	○?	△	◎?

◇コストは？

・単価の他の初期導入コストに注意。

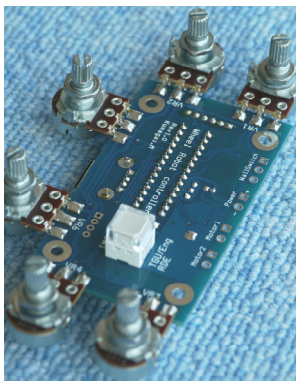
ソフト：無料～数万～数百万　＋加工設備

ここまでのまとめ



○ 私見

◇基板を設計できるようになって良かったか？



・間違いなく、開発の幅が広がった。

・メカの仕様と回路の整合性が高い。

・電子工作をしてきた者には「基板」は
一つの大きなあこがれ。

◇基板開発をお勧めするか？

・(多少の)関心と時間と要請/状況次第。

・回路設計までしているなら、有意義。

今回の目的

○ 電子回路用プリント基板の概要

テーマ1:プリント基板の基礎

・基板の目的、構造、用語など

・基板の独自開発の意義

テーマ2:プリント基板設計の概略

・回路図＋基板CAD

・設計のフロー と 個別の作業

テーマ3:プリント基板の試作と実例

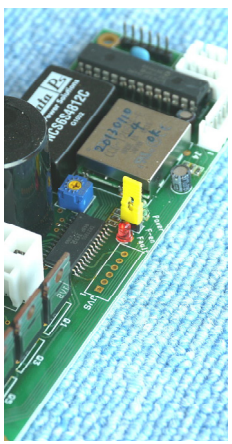
・外注 と 内製（エッチングと機械加工）

基板設計までのプロセス

○ 全体の流れ （基板設計の前まで）

◇回路の仕様を定める

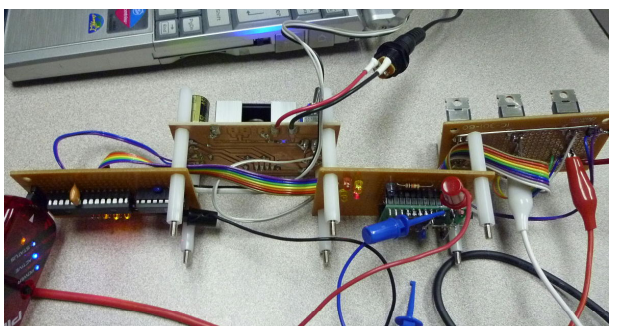
◇回路を設計する



・主要部品の選定（形状確認）

・必要なら仮組で検証

・電気的機能の確定



◇部品を選定する

・同じ機能でも形違い→抵抗、IC、コネクタ

・なるべく現物を用意する。

基板設計までのプロセス

○ 基板の設計

◇部品の形状を用意する

- 既存データ(ネット、メーカ)を入手する。
- 自分でデータを基板CADに入力する。

◇部品を大まかに配置する

- 信号や電力の流れ、機能分離、コネクタ
- 配線、仕上がりにかなり影響

◇配線する

- 単純作業＋パズル

回路設計CAD＋基板設計CAD

○ ネットリストを介した設計の連続性

◇ネットリスト

・回路設計CADの「どの部品のどの端子がどことつながっているか」のデータ。

◇ネットリスト→基板設計CAD

・配線すべき接続が画面上に表示される
→配線して基板上で確定していく。

・回路図と異なる配線をさせない。

手順１：回路の設計

○ 1-1 部品の用意

◇部品ライブラリ

- 「どの部品にどのような端子があるか」

  ※形状情報を含む場合もあるが基本は別。

- ソフトに含む場合やボランティアが公開
- 特殊なIC(マイコンなど)は自作。
- 探せなくて自作することもある。
- 次回以降も手持ち部品は流用可能。

  ＝設計に部品の使い回しは重要。

手順１：回路の設計

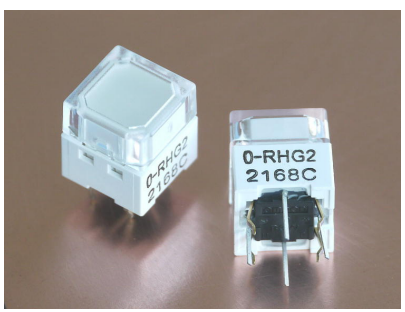
○ 1-1 部品の用意

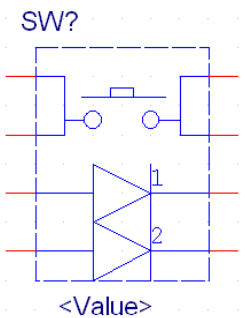
◇回路図の部品 と 基板の部品

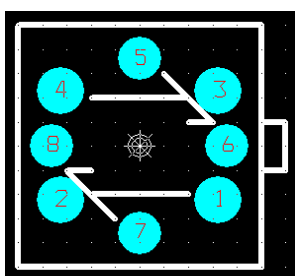
- 意味のシンボルと基板上の形（フットプリント）
- どこかで対応付けをするはソフトによる。

例） 基板設計に入るところで選択

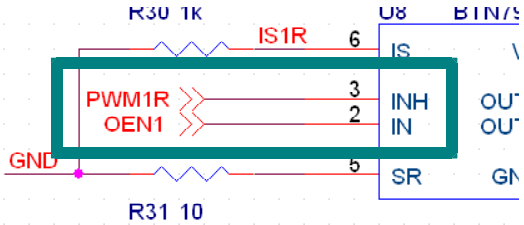
部品レベルで事前に定義







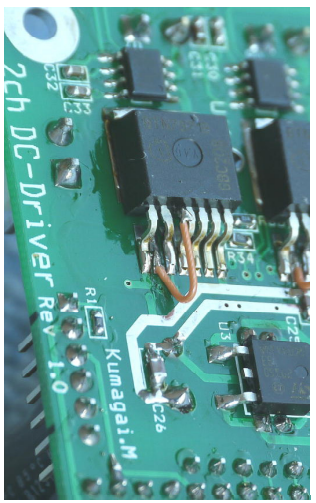
手順１：回路の設計



○ 1-2 回路の設計(図面化)

ここの逆接続に
気付かずコピペ…

◇部品と配線



- 誤配線しないように十分注意する。
  ※ここの誤配線はできた回路まで確定的に影響する。
- 基板設計に応じて修正しうる。
  例）オペアンプの選択、マイコンのピン交換
- ありがちな失敗例：
  単に配線ミス(電源、すきま、接続点)
  パーツの作成ミス(ピン番号、表裏違い)

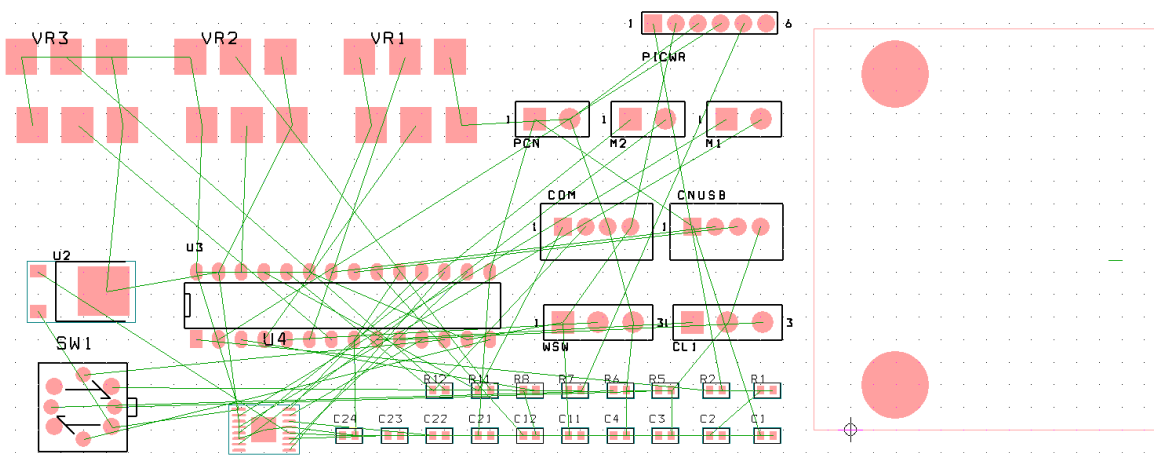
手順2：基板の設計

○ 2-1 部品の配置

◇ネットリストによる部品の自動的な用意

・回路図に対応する部品が基板CADに自動で用意される。

・部品のピン間に接続を示す線。



手順2：基板の設計

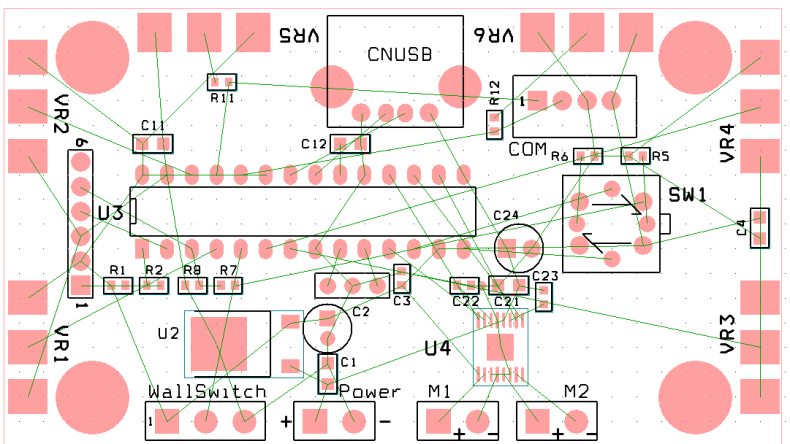
○ 2-1 部品の配置

◇部品の配置のポイント

- 部品の位置が確定的なもの

  例）取付、他との接続、電力部品、コネクタ

- 中核となる部品、その付帯部品、配線

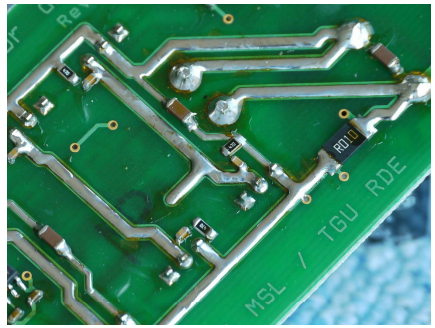


例）マイコン、

発振子やパスコン、

多chの平行配線

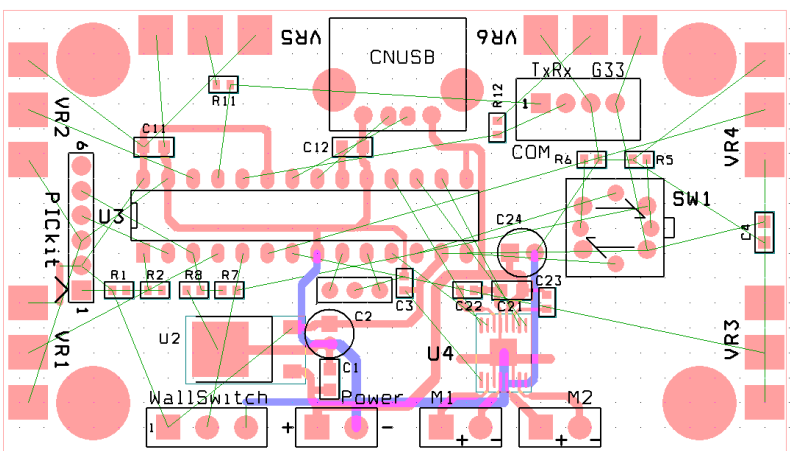
手順2：基板の設計

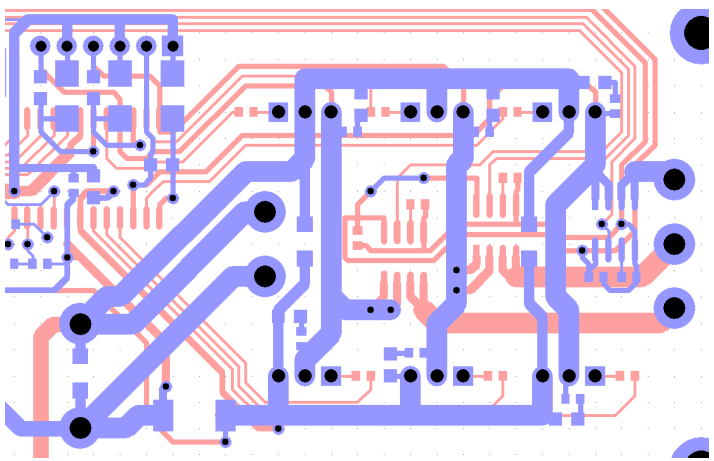


○ 2-2 電源・電力の配線

◇太さ、短さが要求される線

- 場所をとる＆引き回し→あとで入れにくい
- コンデンサの最短配置と接続
- 配線の太さの選択は悩みどころ。





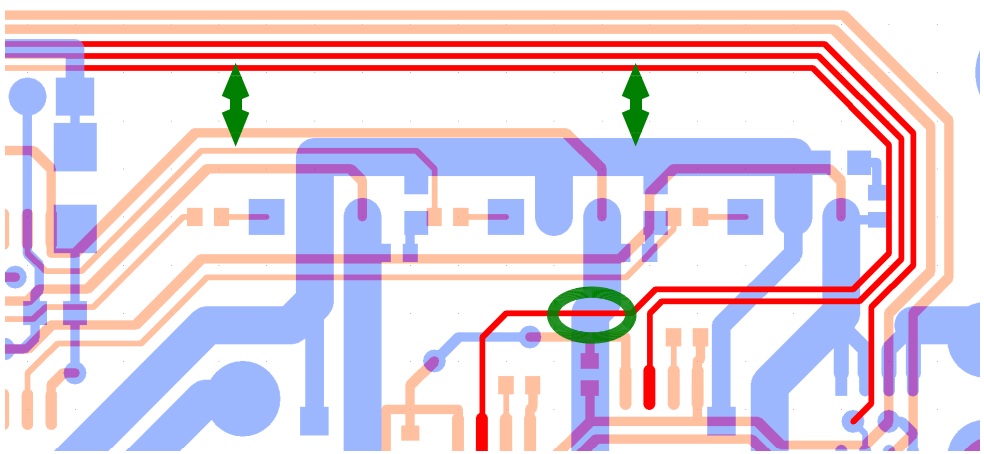
手順2：基板の設計

○ 2-3 アナログ関係の配線

◇ノイズに対する配慮

・電力線、デジタルの線となるべく離す。
　平行に引かない。交差時も交わるように。

・○デジ←電源→アナ　×電源→デジ→アナ



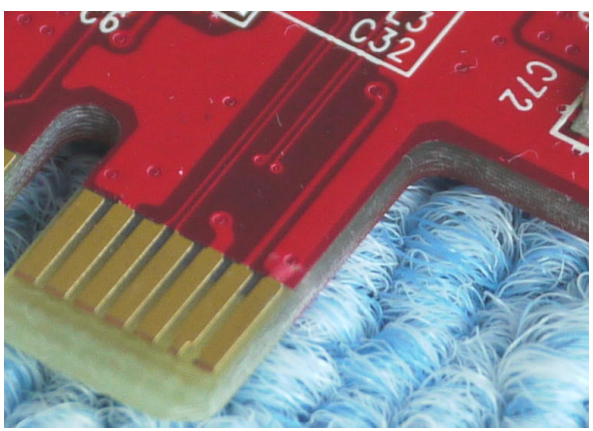
手順2：基板の設計

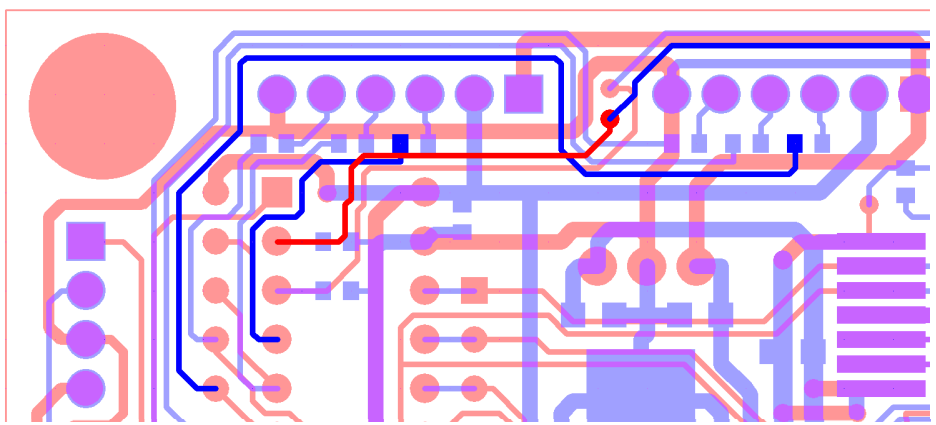
○ 2-4 デジタル関係の配線

◇高速なものは別途配慮が必要

◇一般的なデジタルは「つながっていればOK」

・基板上では優先度最低。
遠回りしてでも通せばよい。





手順2：基板の設計

○ 2-5 配線の整理 と 隙間の調整

◇チェックポイント

- 無駄に遠回りしている配線はないか。
- 無駄にビア(表裏をつなぐだけの穴)がないか
  →穴の数はコスト、面積に響く
- 電源ラインをなるべく太く、まっすぐにする。
- 弱い信号線は隙間を多めに。

◇見た目の美しさ

手順2：基板の設計

最小パターン幅/間隔 (1 oz 銅めっき) 銅箔厚 1/2 oz	0.004"/ 0.004" (0.1mm)
最小パターン幅/間隔 (2 oz 銅めっき)	0.005"/ 0.005" (0.127mm)
最小パターン幅/間隔 (3 oz 銅めっき)	0.008"/ 0.008" (0.2mm)

○ デザインルール

◇加工工程での製造制限への対応

- 銅箔部分の最小幅（＋穴回りの輪）
- 銅箔間のすきま（spacing）
- 10milを下回ると制約が出てくる(＋コスト)。

◇デザインルールチェック DRC

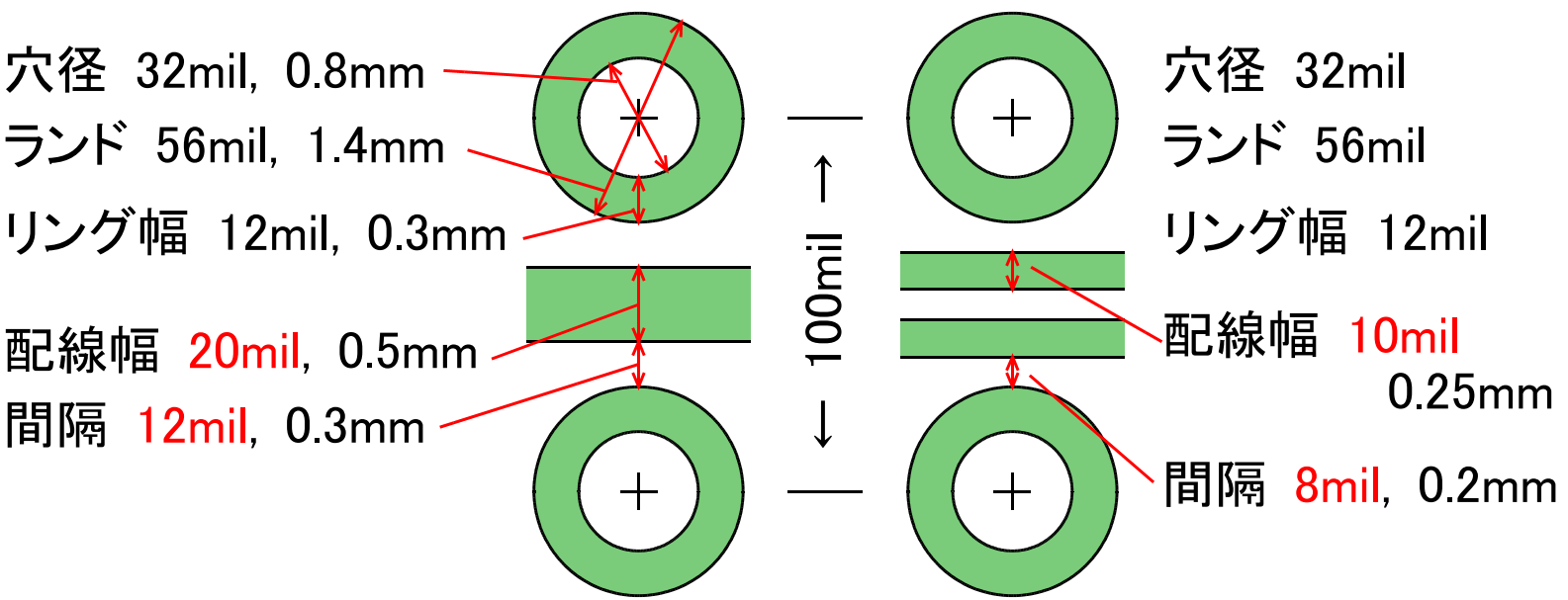
- デザインルールへの抵触を検証する機能。
- ときどきチェックしながら確認。
- 配線中に制約してくれるソフトもあり。

手順２：基板の設計

○ デザインルールとピン間配線

◇「ピン間１本」と「ピン間２本」

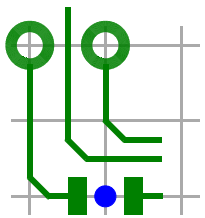
・ピン間＝100mil，2.54mm



手順２：基板の設計

○ グリッド と 配線の角度

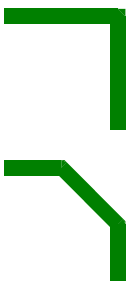
◇部品や配線を等間隔の格子にならべる



・部品：100mil(2.54mm)，50mil くらい

・配線：25mil，12.5mil，5mil など

◇配線は縦横＋斜め45度



・45度以外の斜め線は一般に使わない。

・配線の直角の角は避けることが多い。

→直角角で信号の反射が起きやすい。

※多少は短くもなる

手順2：基板の設計

○ 自動配線

◇ネットリスト、部品配置→自動で配線

・試した範囲(無償品や10年前の高級ソフト) では
納得のいく結果は得られなかった。

← 電気的にはつながるけど理念が無い。
結局、大半の配線を引き直し。
＝最初から自分でやったほうが早い

・ツールは年々進化し、十分な性能が得られ
手間削減の効果が期待できると言われる。

手順３：設計データの出力

○ 加工工程へのデータ渡し

◇ガーバー形式（Extended Gerber, RS274-X）

- 基板パターンの描画データ
- パッドなどの配置と線の描画
- 業界標準フォーマットで発注時に必要。

```
%ADD10C,0.3000*%                G54D27*
%ADD11C,0.0800*%                G01X0001625Y0008000D02*
%ADD12R,0.0800X0.0800*%         X0002375D01*
%ADD13C,0.0620*%                X0002500Y0007875D01*
%ADD14R,0.0620X0.0620*%         Y0008625D01*
%ADD15C,0.0550*%                X0002750Y0008875D01*
%ADD16R,0.0550X0.0550*%         Y0012625D01*
%ADD17C,0.0720*%                X0002375Y0013000D01*
```

手順３：設計データの出力

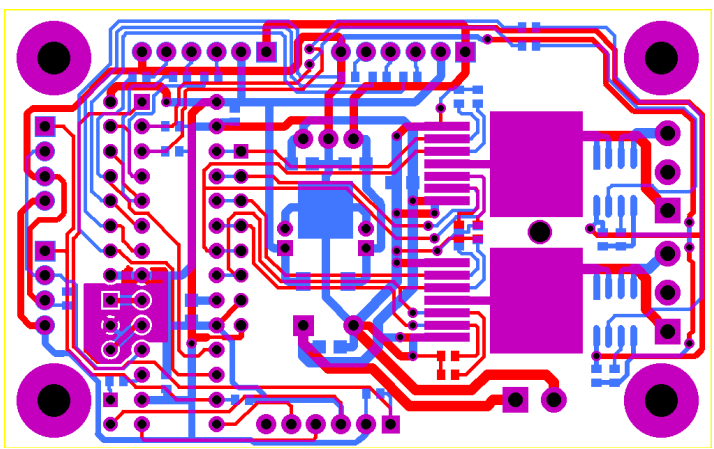
○ データのチェック

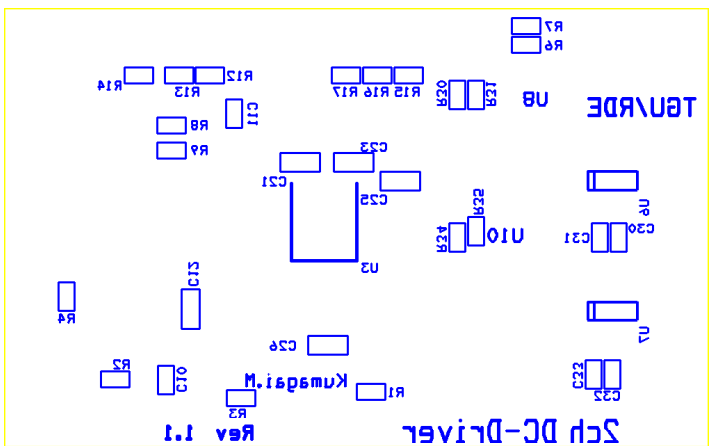
◇ガーバー表示ソフト （例：ViewMate）

・意図した設計通りにデータが出ているか。

・発注前の最終チェックに。

・紙に印刷して透かす、部品を置いてみる等





回路設計CAD＋基板設計CAD

○ CADの例

◇本職向き

- Cadence OrCAD系　（メインに使用）
- Altium Designer (Protel)系
- CADLUS系（国産）

◇無償（有償の機能限定、完全無償他）

- Eagle　（軽い用途にたまに使用）
- KiCad
- 基板メーカ、部品商社などによる配布

今回の目的

○ 電子回路用プリント基板の概要

テーマ1:プリント基板の基礎

・基板の目的、構造、用語など

・基板の独自開発の意義

テーマ2:プリント基板設計の概略

・回路図＋基板CAD

・設計のフロー と 個別の作業

テーマ3:プリント基板の試作と実例

・外注 と 内製（エッチングと機械加工）

基板の製造

○ 設計データから基板そのものに

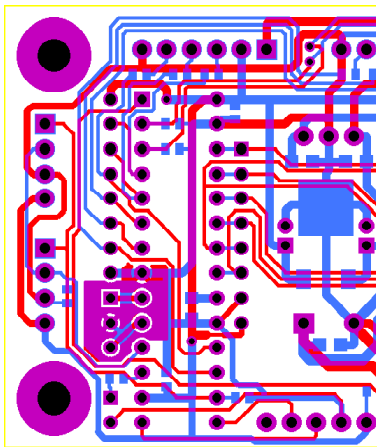
◇外注する

- 一般的な外注
- 格安系ネット外注サービス

◇内製する

- エッチングによる方法
- 基板加工機による基板製作

基板の外注



○ 外注に必要なもの

◇発注先の検討

◇発注用のデータ

・ガーバーファイル一式　（＋ドリル）

パターン表裏、レジスト表裏、シルク表裏

外形加工データ

・その他の条件

銅箔厚さ、メッキ仕上げ、レジスト色

基板の外注

○ 一般的な発注

◇取り扱いの業者に直接相談

- 例） 梅澤無線さん（以前経験あり）
- 国内、直接のやりとりということもあって、細かなところの相談をしたり、アドバイスも得やすい。
- 通常の取引範囲で、伝票処理などをしやすい。

基板の外注

	クイック：4 日	ノーマル：5 日
い	12/06/2013 (04:00,12/02/2013までにご注文をいただいた場合)	12/09/2013 (05:00,12/02/2013までにご注文をいただいた場合)
	製造枚数：30 製造費用 ：25,069 運賃 ：3941 合計金額：29,010	製造枚数：30 製造費用 ：13,286 運賃 ：3941 合計金額：17,227

○ ネット発注

◇従来の外注とネット通販の中間的

- サイトにアクセスし、指定の形式でデータをアップロードする。
- (a)寸法で金額固定 (b)自動的な見積もりで、料金がすぐにわかり、そのまま発注できる。
- 製造の速さ、発送方法にも選択肢。



基板の外注

○ ネット発注

◇特徴

◎ 比較的～かなり安価

△ クレジットカード決済が一般的。
paypalが利用可能なところもある。
見積・納品・請求書は一部除いて不可。

△ 海外の場合は英語でのやりとり。

△ 業者によって違いが大きい。

× どういう業者かよくわからない。

基板の外注

○ ネット発注

◇業界で有名？なネット基板屋

経験済み:

- JETPCB（台湾）
- FusionPCB（SeeedStudio，中国）
- OLIMEX（ブルガリア、受付停止中）

未経験:

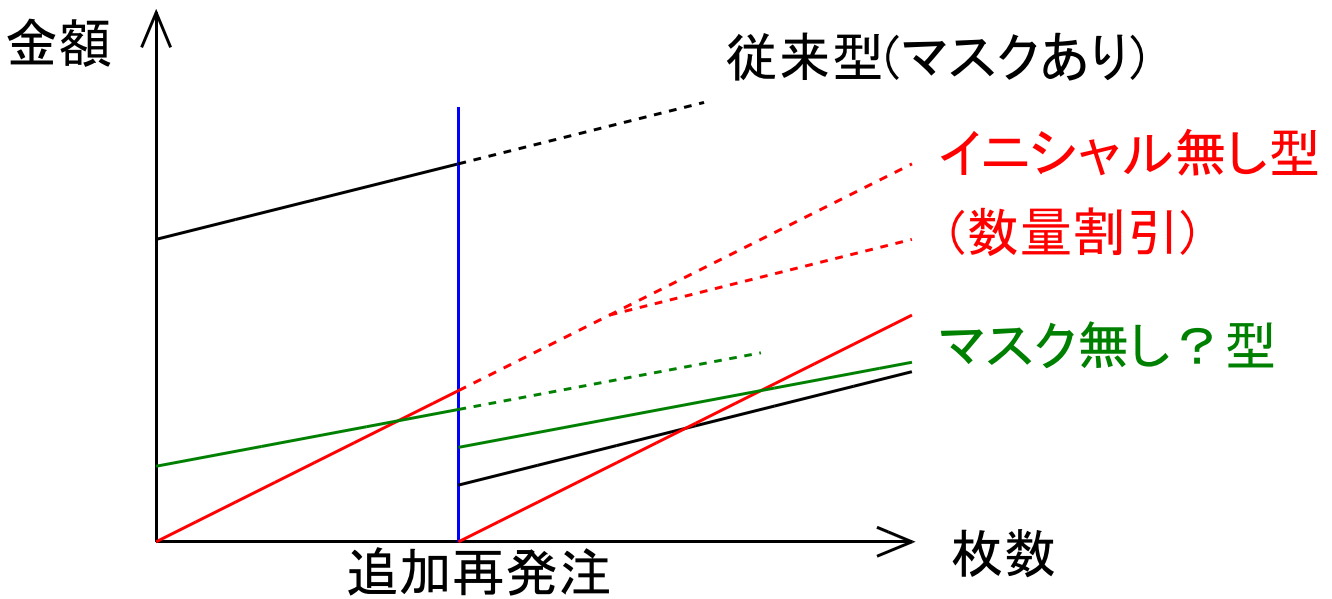
- P板．COM（日本，製造は韓国,台湾,中国）

基板の外注

○ 基板のコスト

◇コストは 初期費用(イニシャル) ＋ 単価

・イニシャルなし、もある(特に安いところ)。



基板の外注

○ 本業でネット発注は使えるか？

◇実際に使ってみて

・研究室レベルではまったく問題ない。

◇取引などに対する不安

・製造は海外でも国内業者経由なら。

◇試してみる

・開発段階の試作、初期量産試験、
本格的な外注前の実機チェックなど。

・週後半に頼んで翌週前半に到着。

基板の内製

○ エッチングによる製作

◇手順の概要

- 基板パターン図の用意

  外注同様に設計し、フィルムに印刷する

- 感光基板に露光、薬剤処理
- エッチング（エッチング液、液の後処理）
- ドリルで穴開け

◇実用的？

- 手間暇、品質、薬品の取り扱い

基板の内製

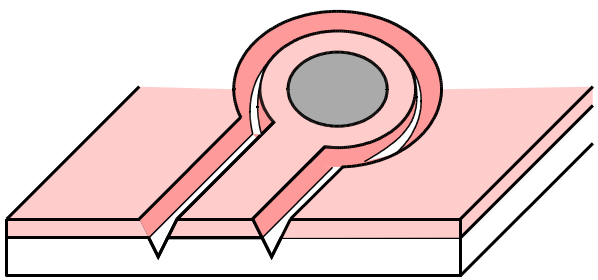
○ 基板加工機（機械加工）

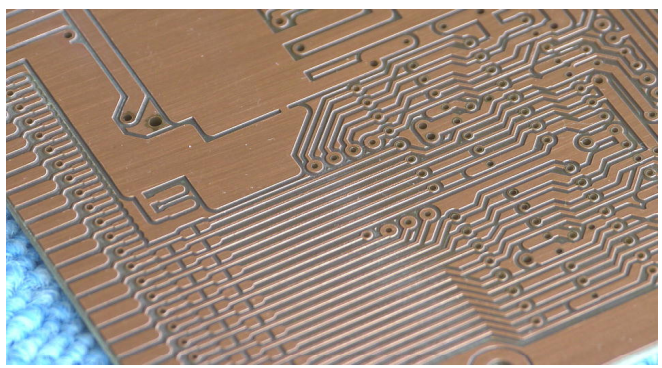
◇NC加工機による基板製造

・必要なパターンの外周をV字に溝切りすることで、独立させる。

・穴も自動で加工。

・ガーバデータをもとに加工できる。





基板の内製

○ 基板加工機（機械加工）



◇NC加工機による基板製造

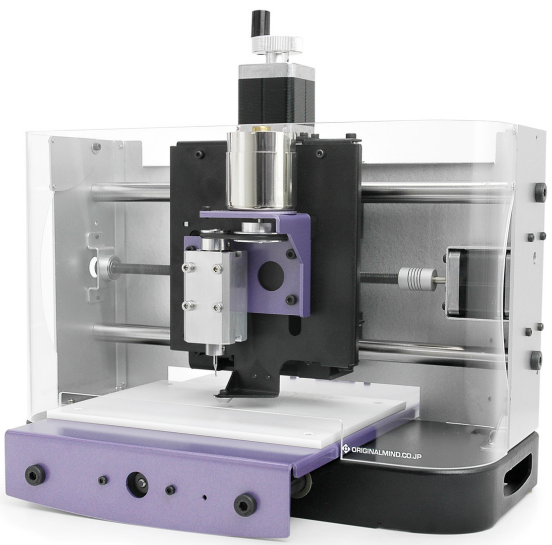
・加工機の例

熊谷研は
ミッツ製
旧型を使用

写真は
両者サイト
より引用



ミッツ(株) AutoLab



(株)オリジナルマインド KitMill

基板の内製

○ 基板加工機（機械加工）

◇加工機加工の特徴

◎ いつでも基板を作ることができる。

○ 普段のコストは低い。

生基板＋切削工具＋電気代＋少し人手

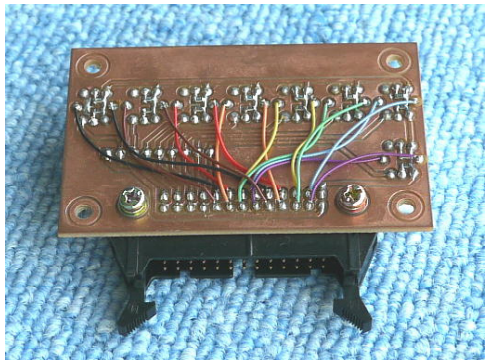
△ 加工時間そのものはそれなりにかかる

△ 基板のデザインルールが厳しい

例）熊谷研は 20mil(0.5mm)幅 12mil間隔(溝)

× 導入コストがかなり高い。

基板の内製



○ 基板加工機（機械加工）

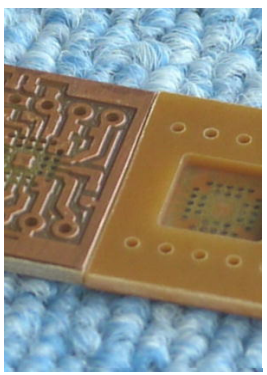
◇仕上がった基板の特性

○ 片面基板は遜色なし。

× 両面基板でもスルホール接続がない。

→「スルピンキット」で機械的に追加

メッキ装置の導入　いずれも難あり



○ 溝のためにハンダブリッジをしにくい。

△ 最後にまとめてレジストスプレー。

→ いまは「片面＋ジャンパ」用途で使用

基板の内製

○ 基板加工機（機械加工）

◇お勧めかどうか

- 導入の予算を確保できるかどうか。
- 突発的に(緩いルールの)基板を
  作る必要があるかどうか。
- 個人的には大変お世話になった(約20年)。

◇いまのネット外注を前提にすると

- トータルコストからは、外注が良さそう。
- ３，４日を待てるかどうか。

まとめ

○ プリント基板の基礎

- 電子回路を組み立てる基板(盤)として、電気的な接続と、機械的な保持をする。
- 絶縁板(ガラエポが主)に貼り付けた銅箔を加工し、回路を形成する。
- 片面、2層、4層が広く使われているが、複雑な回路には6層～多層もある。
- 基板を独自に設計する意義は、回路の設計までできるなら、大いにある。

まとめ

○ プリント基板の設計と製造

- 基板の前に回路の設計データをCADで用意することで、配線間違いのない基板をつくることができる。
- 重要な仕様/知識の先は、パズルと経験。
- 近年は基板をネット経由で安価に外注しやすくなった。
- ある程度の基板なら、基板加工機を用いると、設計したその日に基板製作できる。