

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)

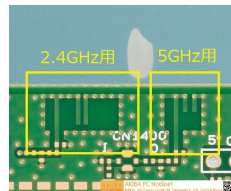
プリント基板とは

○ 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**電氣的な**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

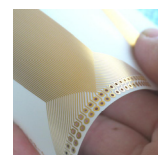
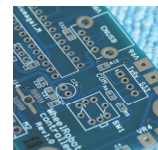


NECアクセステクニカ製無線ルータ
AKIBA PC Hotline より引用

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）

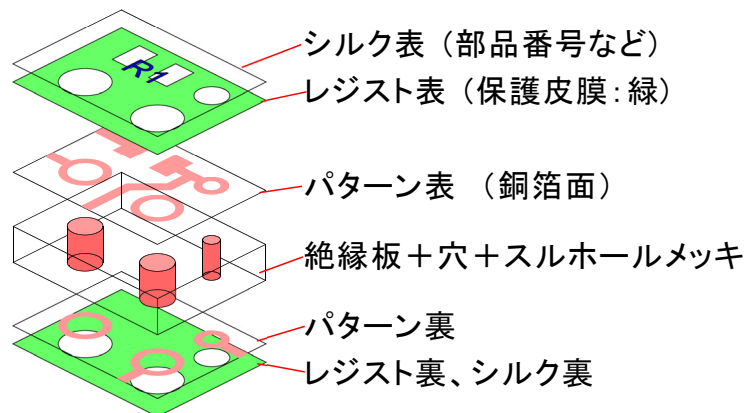
- ・1 mil (ミル) = 1/1000インチ = 25.4 μ m
基板設計の基本寸法。

◇銅箔の厚さ

- ・1 oz (オンス) = 35 μ m
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

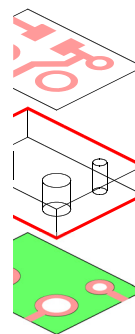


プリント基板の構造・構成

○ 一般的な両面基板の構成

◇絶縁体基材

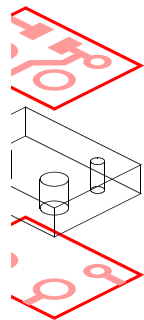
- ・基板の基板、構造、強度を担当。
- ・材質：エポキシ樹脂 フェノール系樹脂 + ガラス繊維、紙などの複合材 セラミック類など
一般的にはガラスエポキシ基板(FR-4)
- ・素材によって絶縁特性、堅さ(そり易さ)、高周波特性、熱伝導性、コストなど異なる



プリント基板の構造・構成

○ 一般的な両面基板の構成

◇銅箔



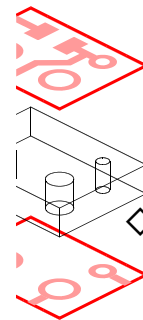
- ・配線 および ハンダ付け場所 を構成。
- ・全面に銅箔が貼られた基板(生基板)から不要部分を除去して、配線部分を残す。
※除去方法: **エッチング**(化学反応)、機械加工
- ・標準の厚さは「1oz」=0.035mm
オプションで2oz(0.070)、3oz、0.5ozなど
電力用には厚いものが使えるが限度有り。



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**

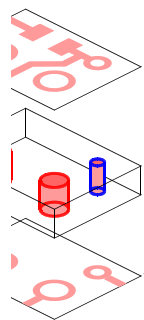


- ・部品を搭載し、ハンダ付けするための場所
 - ・円形・矩形・長円形など（十穴）
 - ・大きさや形状は、部品寸法や電流値、強度などを考慮している。
- #### ◇銅箔: **トラック**(配線)
- ・ランド・パッドをつなぐ配線部分。
 - ・幅は製造技術、電流の大きさなどを考慮。

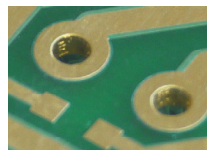
プリント基板の構造・構成

○ 一般的な両面基板の構成

◇穴 (**スルホールメッキ**=導電性)



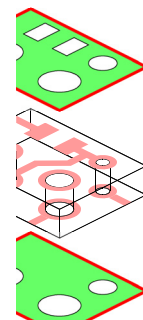
- ・スルーホール
部品を通してハンダ付けする。
 - ・ビア (via)
回路配線を両面でつなぐことが目的。
※と、区別されることが多いが構成は同一
- #### ◇穴 (メッキ無し)
- ・基板そのもの、コネクタの取り付けなど



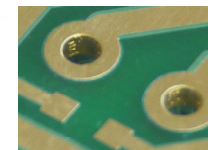
プリント基板の構造・構成

○ 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。

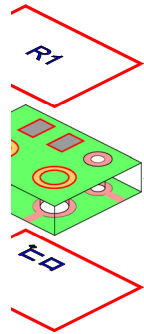


プリント基板の構造・構成

○ 一般的な両面基板の構成

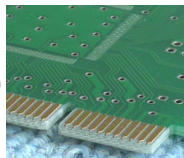
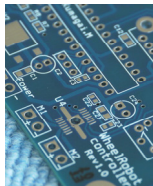
◇シルク印刷

- ・ 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

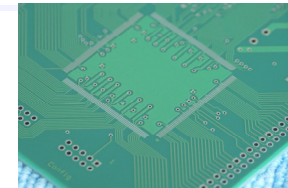
◇片面基板 : 簡単、低コスト

◇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

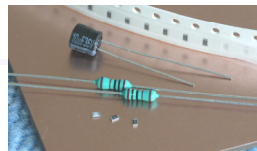
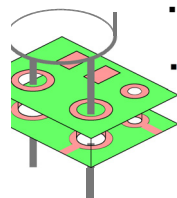
○ スルホール部品

◇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

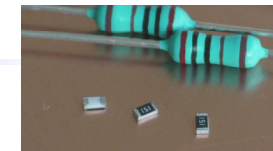
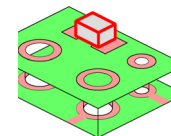
○ 表面実装部品

◇「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

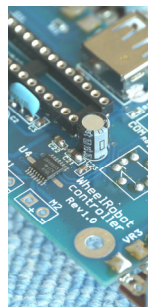


1.6x0.8mm

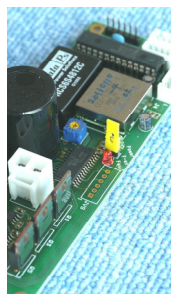
搭載する部品の形状

○ 熊谷研の選定基準 (参考)

→基本的に手でハンダ付け



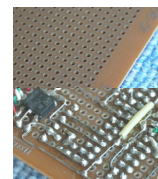
- ・抵抗、セラミックコンデンサ、多くの半導体部品は**表面実装**
(手が無理な表面実装は選定せず)
- ・電力部品 (放熱板取付、破損交換)
マイコン (差し替える場合あり、+ソケット)
電解コンデンサ、LED、コネクタ類
は **スルホール** 部品



プリント基板を設計・製作する意義

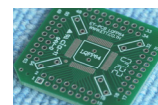
○ 独自基板を使わない場合:

◇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

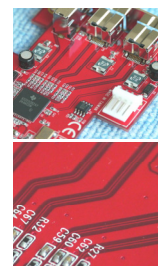
- ・使いたい部品に表面実装しかない場合。
- ・サイズをコンパクトにしたい場合。
(手で配線のほうがコンパクトな場合もあり)

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	○?	○?	△	◎?

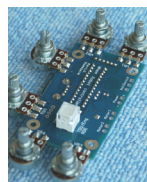
◇コストは？

- ・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)

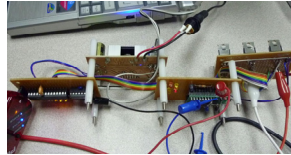
基板設計までのプロセス

○ 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
- ・電氣的機能の確定



◇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、メーカー)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。

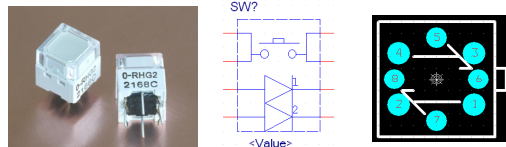
手順1: 回路の設計

○ 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的の形(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。

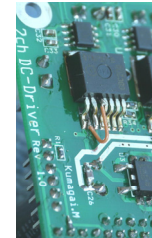
例) 基板設計に入るところで選択
部品レベルで事前に定義



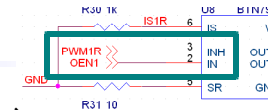
手順1: 回路の設計

○ 1-2 回路の設計(図面化)

◇部品と配線



- ・誤配線しないように十分注意する。
※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)



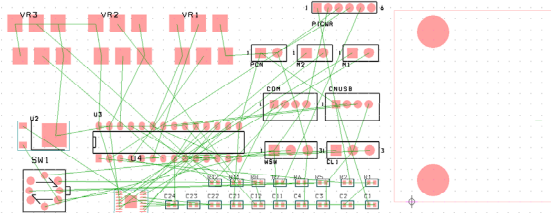
この逆接続に
気付かずコピペ...

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。

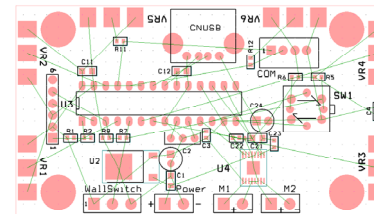


手順2: 基板の設計

○ 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

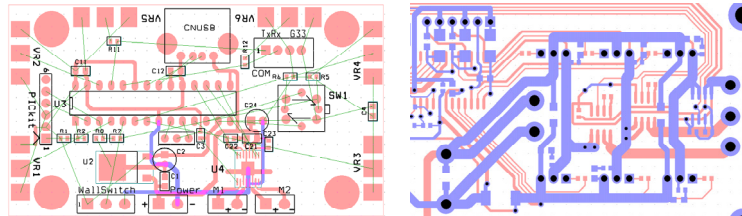
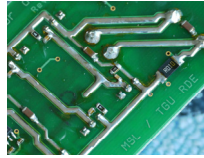


手順2: 基板の設計

○ 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。

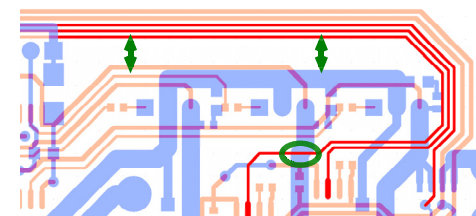


手順2: 基板の設計

○ 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

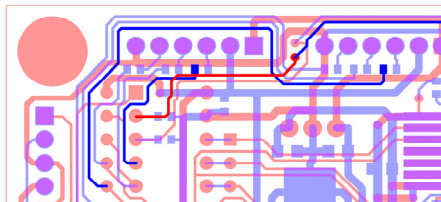
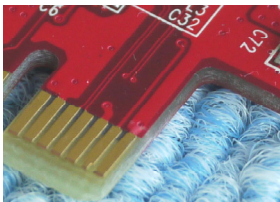


手順2: 基板の設計

○ 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

○ 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。

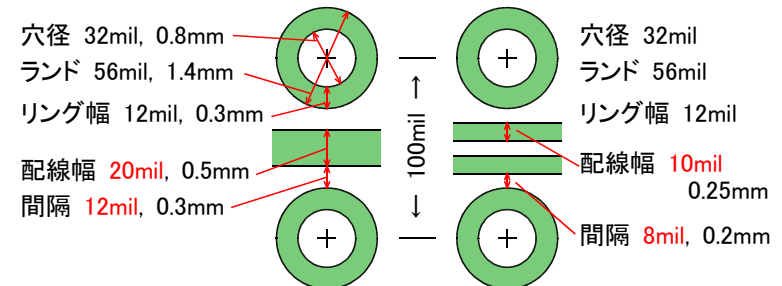
最小パターン幅/間隔 (1 oz 銅めっき) 銅箔厚 1/2 oz	0.004"/ 0.004" (0.1mm)
最小パターン幅/間隔 (2 oz 銅めっき)	0.005"/ 0.005" (0.127mm)
最小パターン幅/間隔 (3 oz 銅めっき)	0.008"/ 0.008" (0.2mm)

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」

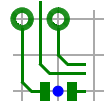
- ・ピン間=100mil, 2.54mm



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。

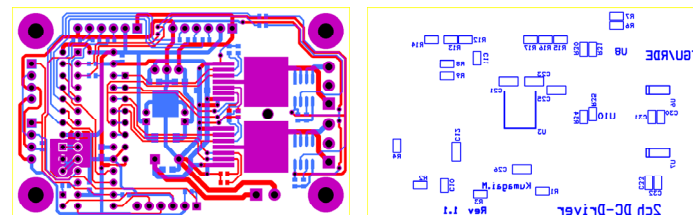
%ADD10C,0.3000*%	G54D27*
%ADD11C,0.0800*%	G01X0001625Y0008000D02*
%ADD12R,0.0800X0.0800*%	X0002375D01*
%ADD13C,0.0620*%	X0002500Y0007875D01*
%ADD14R,0.0620X0.0620*%	Y0008625D01*
%ADD15C,0.0550*%	X0002750Y0008875D01*
%ADD16R,0.0550X0.0550*%	Y0012625D01*
%ADD17C,0.0720*%	X0002375Y0013000D01*

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
- ・基板メーカー、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

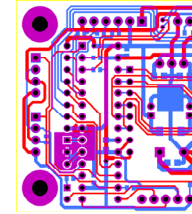
基板の外注

○ 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

○ 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。

PCB Qty. *	10
PCB Layer *	2
Thickness *	1.6mm
Dimension *	5cm Max*10cm Please choose
PCB Color *	Blue +\$10.00
face Finish *	Hasl

	クイック: 4 日	ノーマル: 6 日
12/06/2013	12/09/2013	12/09/2013
(04:00, 12/02/2013までは注文をい だいた場合)	(06:00, 12/02/2013までは注文をい だいた場合)	(06:00, 12/02/2013までは注文をい だいた場合)
製造枚数: 30	製造枚数: 30	製造枚数: 30
製造費用: 25,069	製造費用: 13,286	製造費用: 13,286
運賃: 3941	運賃: 3941	運賃: 3941
合計金額: 29,010	合計金額: 17,227	合計金額: 17,227

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。
- × どういう業者がよくわからない。

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）

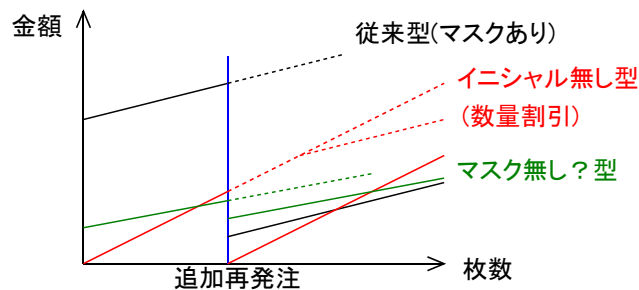
未経験：

- ・ 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？

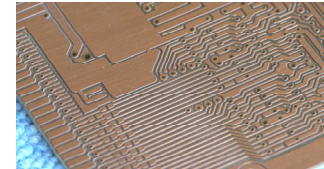
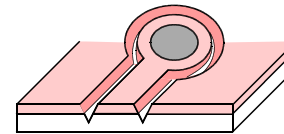
- ・手間暇、品質、薬品の取り扱い

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

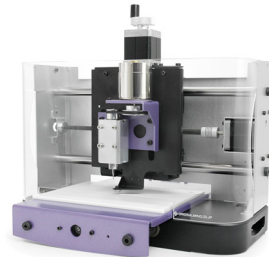


熊谷研は
ミツ製
旧型を使用

写真は
両者サイト
より引用



ミツ(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。

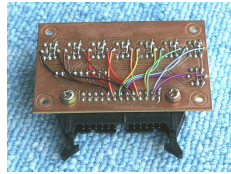
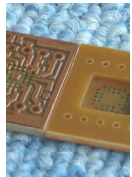
✕ 両面基板でもスルホール接続がない。

→「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、
電氣的な接続と、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。