

プリント基板の製作方法の紹介

川端哲也

計測・制御技術支援室 計測機器技術グループ

概要

計測機器の開発では、信号処理や制御回路にプリント基板を多用する。ここでは、プリント基板の製作方法として、銅箔を張ったガラスエポキシ基板の表面を切削することで配線パターンを形成する、基板加工機を用いた方法。設計した回路図を専門の基板設計製作会社に提供し、配線パターンの設計からプリント基板の製造まで依頼する方法。自分で設計した配線パターンデータをインターネットで基板製造会社に送り、通販で基板を製作する方法。以上、筆者が経験した3つの方法について紹介する。

1 はじめに

計測機器に限らず、プリント基板は身の回りにある電子機器のほぼ全てに使用されている。ここでいうプリント基板とは、「プリント回路板 (Printed Circuit Board / PCB)」のことで、部品が基板に実装され電子回路として機能するものを指す。一方、部品が実装されていないプリント基板のことを「プリント配線板 (Printed Wiring Board / PWB)」と呼び、製造段階が異なるこの二つは、発注する際に明確に区別されることが多い。本稿では、それぞれを区別する必要がない場合、単に「プリント基板」と呼ぶことにする。

1.1 プリント基板の構造と用語

プリント基板の製作方法を紹介する前に、プリント基板の基本構造と製作に関わる主な用語について説明しておく。

● 基板材料

プリント基板のベースとなる基板に用いられる絶縁体には、様々な種類が存在する (表 1)。宇宙地球環境研究所では、厚さ 1.6mm のガラスエポキシ基板 (FR-4) を使用している。

● 片面基板、両面基板

絶縁基板の片面に銅箔を張ったものを「片面基板」と呼び、両面に張ったものを「両面基板」と呼ぶ。両面基板は、配線パターンが表と裏に存在するため、これらを電氣的に繋げる必要がある。筆者の場合は、スループイン KIT (サンハヤト) やリード線をはんだ付けして接続することが多い。

● 多層基板

基板の内層に配線パターンを持つものを多層基板と呼ぶ。例として4層基板の断面図を図1に示す。多層基板は配線パターンを絶縁層で挟み込んで積層化したもので、各層のパターンはスルーホールによって電氣的に接続される。学内で製作するのは困難なため、多層基板は、外部の業者に依頼して製作する。

表 1. 主な基板材

呼称	規格名
紙フェノール	FR-1
紙エポキシ	FR-3
ガラスコンポジット	CEM-3
ガラスエポキシ	FR-4

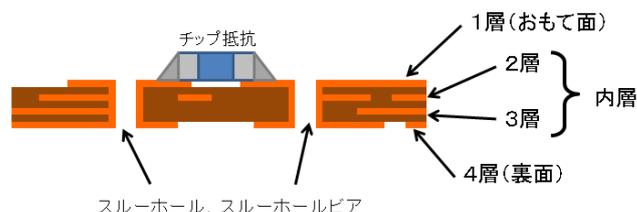


図 1. 4層基板の断面図

- スルーホール

基板に穴が開けられた側面を銅メッキしたもので、これにより各層のパターンを電気的に接続する（図1）。リード線やICの足などの接続端子を通すための穴をスルーホール（図2）と呼び、各層を接続するためにだけ設けた小径の穴はスルーホールビア（図3）と呼ばれる。

- レジスト

基板の表面を保護する絶縁層で、はんだ付けする以外の部分を覆うことで銅箔の酸化を防ぐことができる。緑色が多いが（図2, 図3）、最近の基板では、赤、黒、白、など、様々な色のレジストが存在する。

- シルク

レジストの上に部品の外形や部品番号などの情報を印刷したもので、色は白色が多い（図2）。

- パッケージ

パッケージとは、電子部品の外形のことである。ICの多くは、挿入型の接続端子をもつDIPパッケージが主流であったが、時代が進むにつれ、端子数の増加、ICの小型化、プリント基板の多層化が進み、現在では、表面実装型のICが主流となっている（図4）。表面実装型ICの中でも端子が外部に露出し、手作業によるはんだ付けが可能なパッケージと電極がICの裏面に配置され、リフローというはんだ付け技術を用いなければ基板に固定できないパッケージが存在する。

- リフロー

プリント基板上にペースト状のはんだを印刷し、その上に部品を配置してから全体に熱を加えて部品を固定する方法。表面実装型の部品に用いる。

- ガーバーデータ

プリント基板のパターンを表すデータフォーマットで、いくつかの基本形状とその位置情報でパターンを表現したアスキーファイルである。プリント基板の製造を外部に依頼する場合に提供するデータとなる。ファイル形式は規格化（拡張ガーバーフォーマットRS-274X）されているが、CADから出力する際の設定が適切でないと、製造側で正確にパターンを再現できないことがあるので注意が必要である。

- ホールデータ

基板に加工される穴の情報を納めたデータファイルである。穴径のリストと座標を羅列したアスキーファイルとなっている。

1.2 プリント基板の製作過程

プリント基板の製作過程には、（1）回路設計、（2）パターン設計、（3）プリント配線板の製造、（4）部品実装（はんだ付け）、（5）検査・性能評価がある。紹介する3つの事例の違いは、どの部分を学内でを行い、どの部分を外注するかの違いである。当然、外注した方が製作費は高くなるが、学内では製作できない多層基板やリフローによる部品実装が可能である。

最初に紹介する事例「基板加工機を使用して製作する方法」は、（1）～（5）の全てを学内でおこなう製作方法である。次に紹介する「専門の基板製作会社に配線パターン設計から製造まで依頼する方法」は、（2）～（4）を外部に依頼する方法である。最後に紹介する「ネット通販で基板を製作する方法」は、（3）と、場合によっては（4）を外注して製作する方法である。

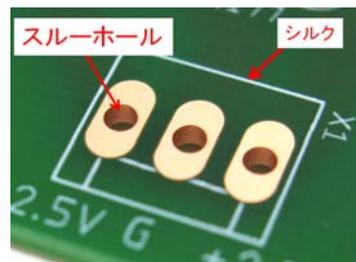


図2. スルーホールとシルク

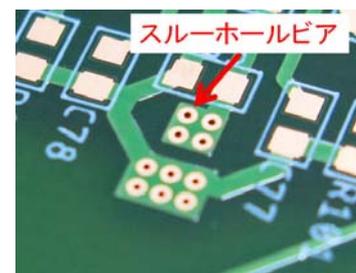


図3. スルーホールビア



図4. DIP（左）と表面実装型SOP（右）パッケージ

2 プリント基板の製作方法の紹介

プリント基板の製作方法は、研究の目的、基板の用途、開発の段階、予算によって使い分けられる。ここでは、筆者が経験した3つの製作方法を紹介する。

2.1 基板加工機を使用して製作する方法

宇宙地球環境研究所では、ほとんどの基板をミッツ株式会社のプリント基板加工機 FPZ-31AT で製作している。依頼の多くは、「回路規模が比較的小さい」、「基板サイズの制約が少ない」、「製作枚数が少ない」、「試作基板である」、などの理由からこの方法を取ることが多い。この製作方法であれば、数時間で基板が完成できるし、何より安価で手軽である。

基板加工機は、未加工の基板表面をミーリングカッターで削ることで、銅箔面にパターンを形成する。基板加工機に付属するソフト (Design Pro, ミッツ株式会社) は、様々な CAD から出力されるガーバーデータを読み込み、加工プログラムに変換することができる。筆者の場合、小規模な回路が多いので、回路図を BSch3V [1] で作成し、回路図を見ながらパターン図を PCBE [2] で設計することが多い。

この製作方法のデメリットは、ミーリングカッターで溝を掘ってパターンを形成するため、そのままでは不要な銅箔が残ってしまう点である。例えば、導線が基板表面に落ちた場合、回路が短絡する危険性がある。こうした事態が起きないように、必要に応じて「不要な銅箔を取り除く」、「レジスト剤を塗って表面を保護する」、「基板を納めるケースや配置方法に注意する」などの配慮が必要である。

2.2 専門の基板製作会社に配線パターン設計から製造まで依頼する方法

2011年に太陽地球環境研究所(当時)宇宙線グループからの依頼で、メキシコのシュラネグラ山頂(標高4,600m)に設置されている太陽中性子望遠鏡 SciCRT (SciBar Cosmic Ray Telescope) [3]のデータ取得を高速化するためにプリント基板を製作することになった。開発は、名古屋大学の佐々井義矩氏によって進められ、2014年に基板が完成し、従来の10倍のデータ取得速度が得られることが確認された[4]。筆者は主にプリント基板やそれらを納めるラックなどハードウェアの準備を担当した。

SciCRTは、もともと加速器ニュートリノ実験(K2K実験)のために開発されたSciBar検出器[5]を宇宙線観測に転用したもので、データ取得速度が宇宙線観測には適していなかった。そこで、FPGAにTCP/IPプロトコルを実装しLANによる高速データ転送を可能にした技術SiTCP[6]を採用した高速データ取得ボード(バックエンドボード)を新たに開発することになった。

このプロジェクトはOpen-It(オープンソースコンソーシアム)[7]の技術支援を受けて進められた。Open-Itは、高エネルギー物理学者が中心となり、物理計測に関わる技術をオープンソースとして共有するコンソーシアムである。そこで、回路図はOpen-Itで標準的に使用されているOrCAD(Cadence)を使い、Open-Itで定められた表記法に従って記述した。

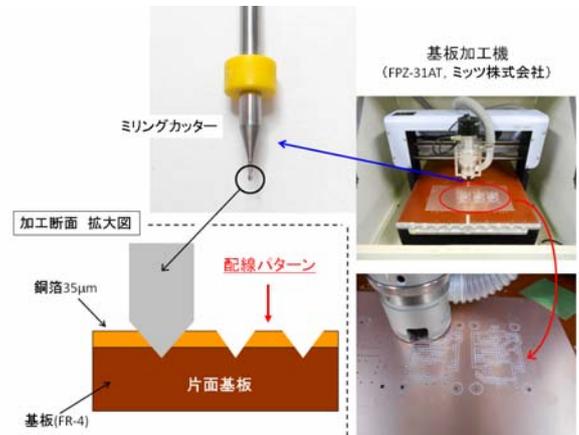


図5. 基板加工機による加工

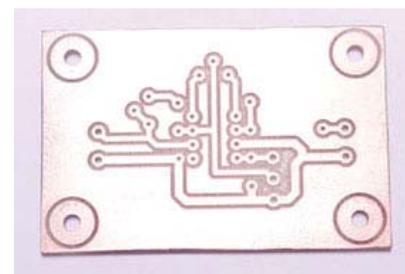


図6. 基板加工機で製作したプリント配線板の例

この時は、部品点数が 1000 点をこえるような基板製作が初めてだったこともあり、物理実験用のプリント基板の製作に慣れた会社に OrCAD で作った回路図データをそのまま提供して、パターン設計からプリント配線板の製作、部品実装まで全てを依頼した。ただし、パターン設計では、基板製作会社からの設計案に対して、高エネルギー加速器研究機構のベテラン技術職員である池野正弘氏に細かな修正点を指摘していただき、それにならって修正指示図を作って会社に送り、修正が反映されたパターン図を再び検図する、といったやりとりを計 4 回繰り返して最終版に至った。この間のやりとりから、パターン設計では、どういった点を注意すべきか、プリント基板製作の根幹に関わるノウハウを教えていただき、たいへん勉強になった。

回路シミュレーターが発達した現在であっても、回路図はいうなれば理論式であり、回路図をパターンにおこし部品を実装した時に、期待どおりの性能が得られるかどうかは、パターン設計にかかっている。特に高速で安定なプリント基板を製作するためには、パターン設計こそ技術の中心であり、最もノウハウが詰まった部分といっても過言ではない。

2.3 ネット通販で基板を製作する方法

宇宙地球環境研究所宇宙線研究部からの依頼で、SciCRT 用の新型フロントエンドボードの開発支援をすることになった。2016 年に基板加工機で製作した 1ch の試作回路の評価[8]を経て、次の段階として 2018 年 8 月にチャンネル数を 16ch に増やしたプリント基板を製作した。このプロジェクトでは、回路設計をメキシコ国立自治大学の共同研究グループが行い、その回路図をもとにメキシコ側と共同で配線パターンを設計した。この際、CAD は EAGLE (Autodesk) を使用した (図 9)。このプロジェクトは、部品点数が 200 点を超えており、基板サイズにも制限があったため 4 層基板をネット通販で製作することになった。

ネット通販でのプリント配線板の製作は、15 年以上前からスタートしており、現在では複数の業者がサービスを行っている。ネット上での自動見積精度も高く、納期も 1 週間～2 週間と比較的短い。注意点としては、製造業者それぞれに穴径、線幅、パターン間隔などに基準があるので、その基準に従って注意深くパターンを設計する必要があること。また、部品実装も依頼する場合は、基板上にシルクで印刷した部品番号と取付部品の型番を正確に対応づけた部品表や実装指示書を準備する必要があることである。こうした一連の作業は緻密で慣れが必要であるが、慣れさえすれば、より高度で複雑なプリント基板を安価に製作することが可能である。



図 7. SciCRT バックエンドボード
プリント配線板



図 8. SciCRT バックエンドボード[4]
プリント回路板

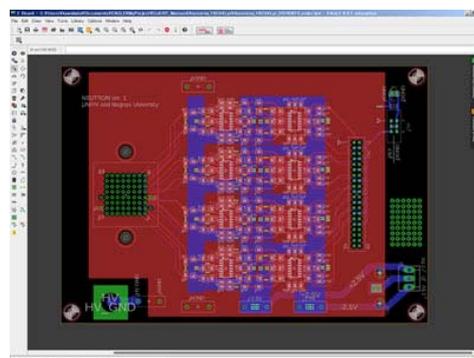


図 9. EAGLE で設計した基板

3 まとめと今後

ここでは、プリント基板の製作方法について、筆者がこれまで経験した3つの方法を紹介した。実際には、製作方法には様々な手段があり、様々なツールも存在するので、本稿は筆者の個人的な事例紹介と受け止めてほしい。

近年、半導体部品の発展はめざましく、最新デバイスのパッケージは、ほとんどが表面実装型で、かつ小型で電極が裏面に隠れているものが多くなってきた。これまで試作基板では、部品を手はんだで取り付けてきたが、いよいよ対応が難しくなってきた。今後は、こうした最新のデバイスに対応するために、ペーストはんだをのせるマスクの製作や、リフローを使ったはんだ付けを職場で手軽に実現できる手法を確立する必要があると考えている。

最後にプリント基板製作の貴重な機会を与えてくださいました宇宙地球環研究所宇宙線研究部の皆様、東京大学宇宙線研究所の埜隆志先生、丁寧なご指導をいただきました高エネルギー加速器研究機構の池野正弘様、内田智久先生、田中真伸先生に感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] 回路エディタ BSch3V, フリーソフト, 水魚堂 岡田仁史
- [2] プリント基板エディタ PCBE, フリーソフト, 高戸谷隆
- [3] Y. Nagai et al., First cosmic-ray measurements by SciCRT solar neutron experiment in Mexico, *Astropart. Phys.*, 59, 39-46, 2014
- [4] Y. Sasai et al., A faster and more reliable data acquisition system for the full performance of the SciCRT, *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A*, 857, 50-57, 2017
- [5] K. Nitta et al., The K2K SciBar detector, *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A*, 535, 147-151, 2004
- [6] T. Uchida, Hardware-based tcp processor for gigabit ethernet, *IEEE Trans. Nucl. Sci.* 55, 1631-1637, 2008
- [7] Open-It (Open Source Consortium of Instrumentation), <http://openit.kek.jp/>
- [8] M. Anzorena et al., Development of faster front end electronics for the SciCRT detector at Sierra Negra, Mexico, *ICRC 2017*, 53