

エレクトロニクス教育におけるオリジナルプリント基板の作成とその効果

筑波技術短期大学電子情報学科電子工学専攻

稲葉 基 後藤 豊

要旨：聴覚障害学生がエレクトロニクスをハードウェア側から学ぶ際、オリジナルプリント基板の作成は、①習得すべきテーマを明確にし、効率の良い学習が可能となる、②エレクトロニクスを専攻とする学生にとって、専門分野の知識を駆使してオリジナリティやアイデアを示す良い機会となり、学習意欲の向上につながる、③学習の成果を目に見える形で得ることができる、④実験・実習が単なる工作と化す危険性が低い、⑤聴覚障害者教育などそれぞれの目的に適した電子回路を容易かつ安価に自主開発・製作することができる、など様々な効果が期待できる。本稿では、本学の電子情報学科電子工学専攻におけるオリジナルプリント基板の作成過程とエレクトロニクス教育において期待できる効果を、大学説明会での体験授業における実践例とともに述べる。

キーワード：エレクトロニクス、プリント基板、写真製版技術、体験授業、聴覚障害者教育

1. はじめに

近年、デジタル信号処理に基づく電子機器は、半導体関連技術の進歩とともに高性能化かつ小型化が進み、エレクトロニクスに関する幅広い知識を有する技術者の育成が求められている。本学の電子情報学科電子工学専攻においても、将来社会に羽ばたき、十分活躍していけるような技術・知識を、限られた授業時間の範囲で習得することが望まれる。そのためには、要点を押さえた効率の良い教育が不可欠であり、特にエレクトロニクスのハードウェアに関する実験・実習では、習得すべきテーマを容易かつ明確にとらえることのできる実験装置が理想である。

一方、一般に学生実験用として市販されている装置は、1台で複数のテーマに対応可能なように設計されている場合が多く、本学のような障害を持つ学生にとっては、本来習得すべきテーマがぼやけてしまう危険性がある。

そこで、テーマに即した電子回路を自主開発・製作する必要があり、これを容易かつ安価に実現できる手法の1つがオリジナルプリント基板である。オリジナルプリント基板による回路製作を、デジタル回路では自動論理合成ツールやプログラマブルLSIチップ等を、アナログ回路では回路シミュレータ等を併用して学習することにより、電子回路に関する理論や素子の基礎知識に加えて、より実践的な技術の習得が可能となると思われる。また、学生自らオリジナルプリント基板の設計・製作を体験することで、「自分の設計・製作した電子回路」を実際に手にでき、ハードウェアに対する学生の学習意欲や自信を向上することも期待できる。これは、予め用意されている部品を設計図通りにはんだ付けする工作キット

とは大きく異なり、単なる電子機器製造の1過程を体験する以上の効果があると考えられる。

以上のことから、今年度(平成14年度)、電子情報学科電子工学専攻の計測制御コース(3年次)の実験にオリジナルプリント基板の作成をとり入れている。本稿では、その試作過程とそこに期待できる効果を取り上げるとともに、製作実践として取り組んだ大学説明会の体験授業における成果について、体験授業参加者のデジタル回路製作に関するアンケート結果をふまえて報告する。

2. オリジナルプリント基板製作過程

本章では、電子情報学科電子工学専攻におけるオリジナルプリント基板の作成過程を紹介する。電子回路基板の作成方法はいくつかあるが、電子工学専攻では写真製版技術を応用したポジ感光基板を用いている。この方法は、一般の写真やフィルムの処理過程と似ており、感光材料を扱うための暗室(今回はデザイン学科の暗室を借用した)、処理薬品等を必要とする一方で、容易かつ安価にオリジナルプリント基板を作成することができる。

基板の作成過程は、透明フィルムに配線パターンを転写した原版の作成と、原版を用いた基板1枚1枚の作成に大別され、細かくは以下の12過程からなる。

①仕様決定

まず、新たに作成する回路の仕様を決定する。回路の目的、動作、入力、出力、規模、電源、使用環境等を詳細に決めておく必要がある。

②回路設計

仕様を満たすように回路図を設計し、使用部品を決める。回路の目的は同じであっても、仕様もしくは使用部

品が異なれば設計も変わってくる。

③回路解析

回路シミュレータ (SPICE) 等を用いて回路の特性解析をおこなう。回路の目的に即した最高の性能と安定性が得られるように、部品やその素子値を変えて解析を繰り返し、最終的な回路図を完成させる。解析で十分な性能を得ることができなかった場合や特性上の問題が見つかった場合には、1つ前の過程に戻り、回路設計を変更する。回路の仕様が厳しくなるほど、または規模が大きくなるほど、回路解析の重要性は増してくる。

④配線パターン設計

回路図をもとに配線パターンを設計する。パターンは、白い紙の上に、配線・コネクタ等の導電性部分が黒くなるように描く。配線の幅、間隔、使用部品の大きさ等が考慮されていれば、もちろん手書きでも構わないが、CAD (コンピュータデザインツール) を用いることで、より正確かつ高集積なパターンの作図が可能となる。専用の原版作成装置 (カメラ) を用いる場合、原版作成時に25% (縦50%、横50%) に縮小されるため、実際に基板へプリントされる大きさの400%で配線パターンを作図しておく必要がある。

プリント基板の片面のみに配線パターンを作成する一層基板では、ジャンパ (電線) による配線の立体交差が多々必要となり、このジャンパの取り付けは、部品取り付け時の大きな手間である。したがって、できるだけジャンパの数が少なく、しかも線長が短くなるように、配線パターンを設計する必要がある。ところが、部品数が増えるにつれて配線パターンは複雑化し、ジャンパの少ない設計は困難を極める。回路の規模が大きくなればなるほど、回路図から最適なパターンを作り出す自動設計ツールの使用が不可欠となる。一方、基板の両面 (2層)、もしくはさらにそれらを張り合わせた多層基板では、スルーホールと呼ばれる導電性のピンで複数の基板の配線パターンをつなぐことによって立体交差を構成できるため、基本的に後付けのジャンパは不要である。

⑤ネガペーパー露光

ここからが暗室作業となる。作図した配線パターンを写真製版技術によって透明フィルムに転写するが、直接フィルムに焼き付けるのではなく、ネガペーパーを介しておこなう。撮影対象は、ハイコントラストの配線パターンであるため、一般の写真用暗室安全灯 (セーフティランプ) は問題なく使用できる。

作図した配線パターンは、専用の原版撮影装置 (25%縮小カメラ) の原稿台中央にのせてガラス板で押さえつけることでセットされる。次に、暗室を暗くして、カメラの上にネガペーパーの露光面 (黒っぽくて少しバタバタ

している方) を下にしてセットする。

図1は、露光中の原版撮影装置であり、原稿の配線パターンを真上から撮影し、レンズ (シルエットとなっている部分) の反対側のネガペーパーを露光する仕組みである。露光時間は、製造時期依存で、製造から3ヶ月の時点で35秒あたりが標準である。

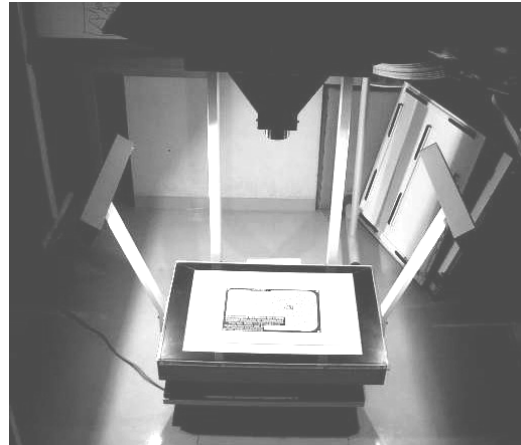


図1 露光中の原版撮影装置

⑥ネガペーパー現像 (フィルム転写)

露光に続き、ネガペーパーから透明フィルムへと配線パターンを転写する。ネガペーパーの露光面を転写用の透明フィルムと合わせて、専用のプロセッサに差し込むと、現像液に浸って、現像と同時に転写がおこなわれる。その際、ネガペーパーと透明フィルムは重ねて位置を揃えておくが、差し込み口が異なるので注意が必要である。プロセッサからネガペーパーとフィルムが合わさって出てきたら、そのまま30~40秒待って分離させ、フィルムを水洗いする (図2)。一般の写真処理でおこなう停止や定着といった過程はなく、よく十分水洗いをして乾燥させると、原版フィルムの完成である。

この原版フィルムは基板作成毎に使用するので、キズを付けないように大切に保管しておく必要がある。仮に、原版フィルムにキズや欠落がある場合には、この時点で修正可能である。

高集積な配線パターンでない限り、専用の原版撮影装置 (縮小カメラ) やプロセッサを使わなくても、OHPフィルムに配線パターンを印刷もしくは透明フィルムに直書きすることで、原版フィルムを作成することが可能である。



図2 転写が完了し、水洗い中の原版フィルム

⑦ポジ感光基板露光

ここからは、原版フィルムを用いて、オリジナルプリント基板を1枚1枚作成していく。使用するポジ感光基板は、紫外線領域に感度があり、原版フィルム同様、現像・水洗いが完了するまで暗闇で取り扱う（セーフティランプは使用可能）。

ポジ感光基板を遮光袋から取り出し、1層基板の場合は露光面（黒い方）に原版フィルムを合わせる形で、2層基板の場合は1対の原版フィルムでサンドイッチするようにして、紫外線露光器で露光させる。専用の露光器では、真空ポンプで基板とフィルムを密着できるようになっている。露光時間は、ポジ感光基板製造後3ヶ月で、およそ4分間である。

⑧ポジ感光基板現像

ポジ感光基板の露光が済んだら、現像をおこなう。現像液に浸して数十秒経つと、基板の上に配線パターンが浮き上がってくる。セーフティランプの明かりで現像の進行状況を確認することもできるが、液温20℃で約90秒が標準の現像時間である。現像が済み、よく水洗いしたら、部屋を明るくしても構わない。

⑨ポジ感光基板検査

現像が終了したばかりのポジ感光基板は、図3のように、最終的に配線となる部分が青色のレジストで被われ、配線とならない部分は銅箔がむき出しの状態となっている。配線とならない部分の不要な銅箔を除去する前に、レジストの状態を注意深く検査しておく必要がある。これは基板作成の中で最も重要な過程の1つであり、もしもレジストに欠落やキズが生じると、その箇所の銅箔も除去されてしまい、断線の原因となる。



図3 現像の完了したポジ感光基板

⑩エッチング

基板から不要な銅箔を除去することをエッチングと呼ぶ。約40℃まで暖めたエッチング液につけると、レジストに被われていない部分の銅箔が溶けだしてなくなる。エッチングの所要時間は、液の劣化具合に依存するが、明るい部屋で作業できるため、溶け具合を確認しながら処理を進めることができる。

エッチング液の劣化を最小限に抑えるためには、溶かす銅箔部分の少ない、言い換えれば配線部分の多いパターン設計をおこなうなど工夫が必要である。また、エッチング液は、金属製の道具や流し台すら溶かすため、その取り扱いには注意が必要である。図4は、エッチング中のポジ感光基板の様子であり、レジストに被われていない部分の銅箔が溶け出しているのがわかる。



図4 エッチング中のポジ感光基板

⑪レジスト除去

エッチングが終わったら、配線部分の銅箔を被っているレジストを除去する。ポジ感光基板のレジストはアルコール等で拭き取るにより簡単に除去でき、設計した配線パターン通りの銅箔があらわれる。この銅箔は、直接手で触れると錆びやすいため、ペースト等でコーティングするか、メッキをかけた方がよい。

⑫基板の穴あけ

最後に、ドリルで部品取り付け用の穴をあければ、オリジナルプリント基板の完成である。穴の大きさは、標準で0.8mmφ、リレーやスイッチ等では1.0mmφを越えるものもある。穴あけは、位置精度も要求され、またドリルの針も折れやすいため、根気のいる作業である。さらに、2層以上の配線パターンを持つ多層基板では、穴を開けた後で各層をつなぐスルーホールを打ったり、基板同士を接着させたりして完成である。

3. 大学説明会の体験授業における製作実践

3. 1 体験授業の狙いと準備

平成14年度の大学説明会（開催地：本学）において、電子情報学科電子工学専攻では、ここで学ぶ「電子工学」とはどういった学問なのかをハードウェア側とソフトウェア側からとらえてもらう2つの体験授業を準備した。そのハードウェアコースでは、オリジナルプリント基板の製作実践として、4種類のデジタル回路を用意し、参加生徒（9名：中学3年～高校3年）に製作を体験してもらった。

製作回路は、デジタル信号について分かりやすく、しかも視覚的に楽しい動作をするよう心がけて設計した。基本動作は、クロックを発生させて、それをデジタル信号処理し、LED（発光ダイオード）を点滅させるというものである。回路によって光る色やパターンが異なり、点滅速度も自由に変化させることができる。また、すべての基板には、大学の名前と住所、学科・専攻の名前、来学年月日が記されている。

計測制御コースの学生3名と教官2名が、事前のオリジナルプリント基板作成、および当日の回路製作の補助を務めた。3名の学生には、それぞれ1つずつ回路を担当してもらい、体験授業のときに何を聞かれても答えられるように十分に勉強してもらった。勉強の成果は、補助担当の5名の中での発表会という形で報告してもらい、他の学生が担当している回路のこともある程度把握してもらう機会を設けた。学生達は、普段以上にこの発表会を積極的に取り組み、単なる大学説明会の準備というよりも、むしろ彼ら自身にとって良い実践の機会が与えられたようにもとらえることができた。また、大学説明会

当日も、しっかりと補助を務め、質問にも対応していた。この背景としては、回路の割り振りにともなう責任感と、自分の回路すなわち他人のまだ知らないことを自分の専門分野の知識を駆使して解説できるという自信や誇りが学習意欲につながったと考えられる。

3. 2 体験授業で製作したデジタル回路

大学説明会の体験授業向けに作成した難易度別の4つのデジタル回路は以下の通りである。

回路① 2色LEDインジケータ（図5）。

赤色および緑色を発色できる8個の2色LED上をまず赤色が順番に進み、その後、反転して緑色が進むパターンの繰り返しである。最も簡単である。

回路② 2色LEDフラッシュャ。

7個の2色LEDのうち、まず赤色が順番に点滅し、赤色が一斉に発光（フラッシュ）、その後、緑色が反対向きに点滅していき、最後に緑が一斉に発光するパターンの繰り返しである。素子数は、回路①の約2倍で、最も複雑である。

回路③ 赤色LEDインジケータ。

1列に並んだ16個のLED上を赤い光が行ったり来たりする回路である。LEDの数は多いが、製作は比較的容易である。右端と左端の各LEDで光の向きを反転させる原理が回路的におもしろい。

回路④ LEDタイマー。

16進スイッチで設定した時間を、17個のLEDの点滅でカウントダウンするタイマー回路である。一時停止機能もあり、実用的であるが、部品数が多いため、製作は多少難しいと思われる。

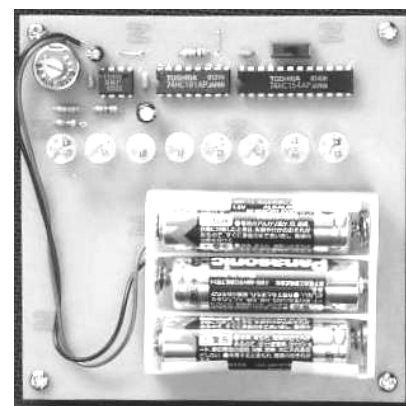


図5 2色LEDインジケータ

3. 3 体験授業のアンケート結果と考察

大学説明会の体験授業で、オリジナルプリント基板によりデジタル回路を製作した生徒から、以下のアンケ

ート結果が得られたので報告する。

まず、製作回路の難易度に関しては、図6のような回答となった。初めて電子部品に触れた生徒もおり、特に部品数（製作の手間）の多い回路②と回路④を選択した生徒は、難しいと感じたようである。

しかしながら、次の質問（図7）では、今度はもっと難しいものを製作してみたいと答える生徒もあり、電子回路製作に対する意欲が感じられた。そして、興味についての質問（図8）では、図6で難しかったと答えた生徒も含め、半数以上が電子回路の製作に興味をもったと答えており、学年が上になるほどその傾向は強い。一方で、幸いながら、大学説明会で電子回路の製作が嫌いになった生徒はいなかったようである。また、最後の自由感想欄では、図9のように、ほとんどの生徒が楽しかった、いい経験になったと書いており、体験授業におけるオリジナルプリント基板の有効性を示すものにとらえることができる。

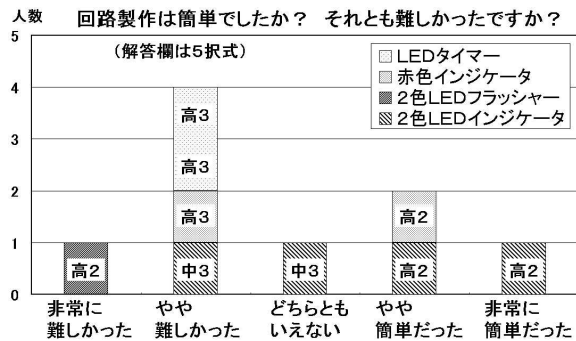


図6 アンケート結果①

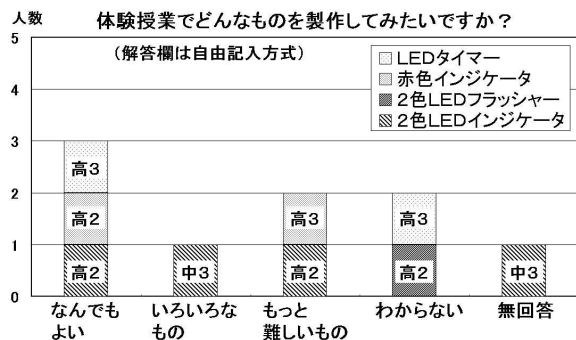


図7 アンケート結果②

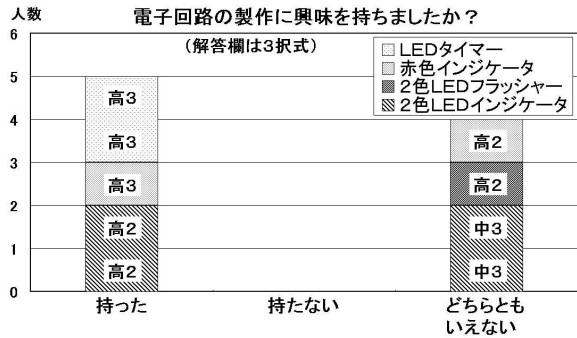


図8 アンケート結果③

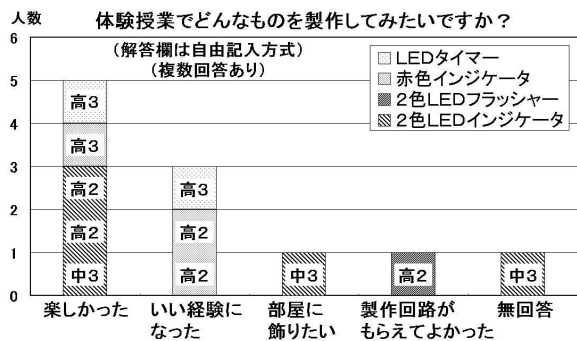


図9 アンケート結果④

4. まとめ

オリジナルプリント基板は、容易かつ安価に電子回路を実現する手法のひとつである。この基板の作成を通して、学生はもの創りの楽しさや達成感を味わうことができ、これはエレクトロニクス教育において重要な意味を持つと考えられる。個々のテーマの電子回路をオリジナルプリント基板という目に見える形で実現しながら考察し、自他ともに学んでいく方法は、聴覚障害学生にとっても十分に有効と思われる。

Original PCB Production in Electronics Education and Its Effect

Motoi INABA Yutaka GOTO

Electronics Engineering Course, Department of Information Science and Electronics,
Tsukuba College of Technology

Abstract : The Electronics Engineering Course in TCT (Tsukuba College of Technology) has introduced original PCB (Print-Circuit Board) production into the electronics education for those with hearing impairments. PCB is suitable for self-development of electronics with accurate objects. PCB can be realized using photomechanical techniques easily, and its production costs can be kept to a minimum. And furthermore, it will give a student an incentive to learn electronics harder. Students will deepen a practical knowledge about electronics through the original PCB production. In this report, processes of the original PCB production in TCT and its good effects in electronics education are presented.

Key Words: Electronics, PCB, Experience Class, Photomechanical Technique, Education for those with Hearing Impairments.