

リフローはんだ付けによる 基板製作実習への取組み

東海職業能力開発大学校 齋藤 公利

Practical training in PCB manufacturing using reflow soldering

SAITO Kimitoshi

要約

現在の多くの電子機器で使用されている電子部品は、リフローはんだ付けによる表面実装が行われている。学生の就職先として電子回路設計 CAD 関連企業や電子部品実装企業にも就職しているため、設計方法や製造工程や製造方法を実際に体験しておくことは、非常に有意義である。基板加工機やリフローオープン、クリームはんだ印刷機を整備したこともあり、令和 5 年度で表面実装のリフローはんだ付けによるプリント基板製作実習が実施できた。本論文ではその実習内容について報告する。

I はじめに

電子情報技術科のカリキュラムの中の専攻実技科目として「電子回路設計製作実習」「組込み機器製作実習」があり、その中で電子回路基板設計や電子回路組立ての実習を行ってきた。

これまでは抵抗などのリード部品や DIP (Dual Inline Package) タイプの IC を用いて電子回路基板を設計し、部品をプリント基板のスルーホールにリードを挿入して、はんだ付けをする手法で授業を行ってきた。また、SOP (Small Outline Package) タイプしか存在しない IC の場合には、その部品は手付によるはんだ付け作業をした。この手法は技能検定の電子機器組立てでも、行われている。しかし現在の多くの電子機器に使用されている電子部品は表面実装部品であり、これらの実装にはリフローはんだ付けが一般的に用いられている。学生の就職先として電子回路設計 CAD 関連企業や電子部品実装企業にも就職しているため、設計方法や製造工程や製造方法を実際に体験しておくことは、非常に有意義である。

基板加工機やリフローオープン、クリームはんだ印刷機を整備したこともあり、令和 5 年度でリフローはんだ付けによるプリント基板製作実習を実施できたため、本論文で報告する。

II 実習装置

実習装置は図 1 に示す電子回路設計システム CR8000 (図研)、図 2 の切削工具を使用して電子回路パターンを作成する基板加工機 S-64 (LPKF)、クリームはんだを塗布する図 3 のクリームはんだ印刷機 ProtoPrint S4 (LPKF)、およびクリームはんだを溶融する図 4 の卓上リフローオープン ProtoFlow S (LPKF) で構成される。

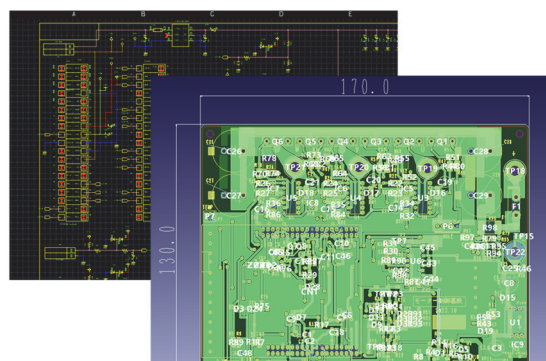


図1 電子回路設計システム

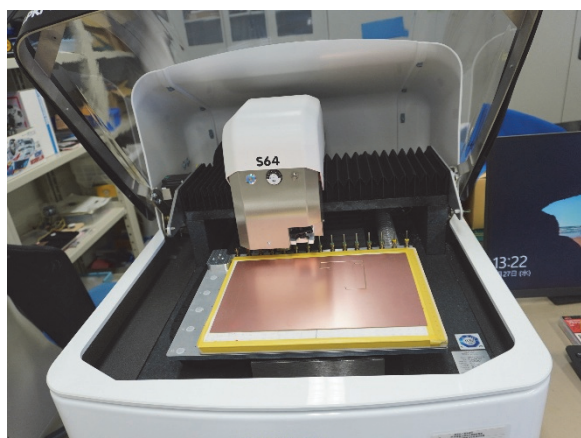


図2 基板加工機 S64



図3 クリームはんだ印刷機 ProtoPrint S4



図4 卓上リフローオープン ProtoFlow S

Ⅲ 実際のリフローはんだ付けの製造工程

表面実装技術は SMT (Surface mount technology) と呼ばれ、リフローはんだ付け工程は①はんだ印刷工程 ②

マウント工程 ③リフロー工程の 3 つに分けられる。各工程での内容を次に示す。また、この実際の実装工程を学べる実習内容を展開した。詳細は次章に示す。

1 はんだ印刷工程

細かい粒子状のはんだとフラックスなどを混ぜ合わせたペースト状のクリームはんだを、専用の印刷装置で基板上のパッドに印刷する。メタルマスクによって不要な箇所にはクリームはんだが印刷されないようにする。

2 マウント工程

マウント工程は、クリームはんだの印刷作業を終えたプリント基板にチップ部品を実装する工程で、マウンターと呼ばれる自動実装機で実装する。

3 リフロー工程

リフロー工程は、マウント工程を終えたプリント基板を加熱し、クリームはんだを溶融させて実装部品をはんだ付けする工程である。専用装置であるリフロー炉を用い、加熱から冷却までの温度および加熱時間を精密かつ自動的に制御する。

Ⅳ 実習での展開

専門課程 2 年生の専攻実技の中に「インターフェース製作実習」があり、センサや周辺機器とのインターフェース回路の設計及び製作実習を展開する。インターフェース用 IC は表面実装部品も多く存在している。令和 5 年度は「組込み機器製作実習」の実習時間を使い、インターフェース製作実習用の基板として組み立て実習を行った。実習では表面実装部品を用いて、指導員が設計し外注で製作したプリント基板と基板加工機で切削したメタルマスクを用いた。学生 31 名は、クリームはんだ印刷機によるはんだ塗布作業と 176 点の表面実装部品の実装作業を行った。リフローオープンによるはんだ付け工程は動画により提示し、火傷等のリスクを考慮して、リフローオープンによるはんだ溶融工程は指導員が行った。学生全員が基板を完成することができた。各工程で実施した内容を次に示す。

1 基板設計

電子回路設計 CAD においては、あらかじめ用意されている表面実装部品の部品ライブラリは限られており、IC などの部品はデータシート上に記載された情報をも

とに、指導員で部品登録を行った。表面実装をする際には、クリームはんだを塗布するための図 5 に示すメタルマスクパターンも必要となる。図 6 および図 7 のデータシート⁽¹⁾を参考にして、電子回路設計 CAD のライブラリに用意されている長方形 $1.0 \times 0.4 \text{ mm}$ のパッドスタックを使用して、メタルマスクは導体と同寸法、レジストは $+0.05 \text{ mm}$ として設計を行なった。データシートに基づいて設計した部品ライブラリ用のフットプリントを図 8 に示す。

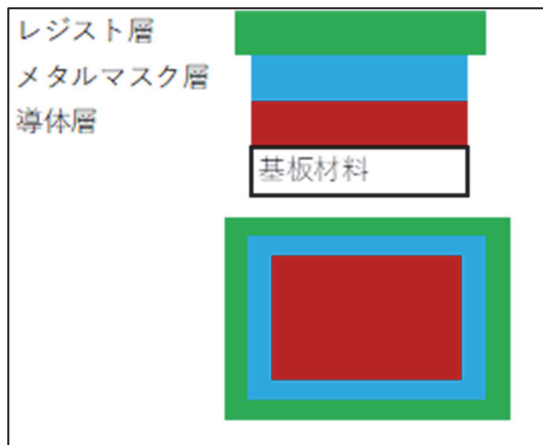


図5 表面実装で必要となる図面層

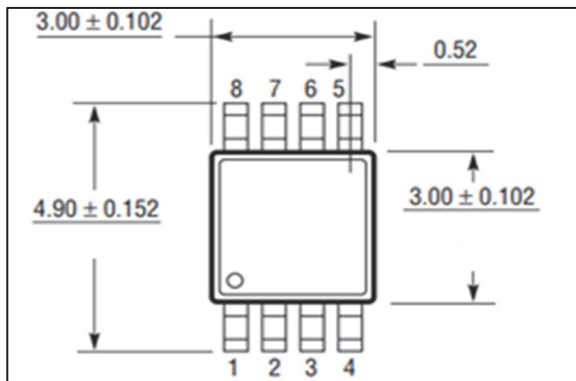


図6 データシートに記載された部品寸法

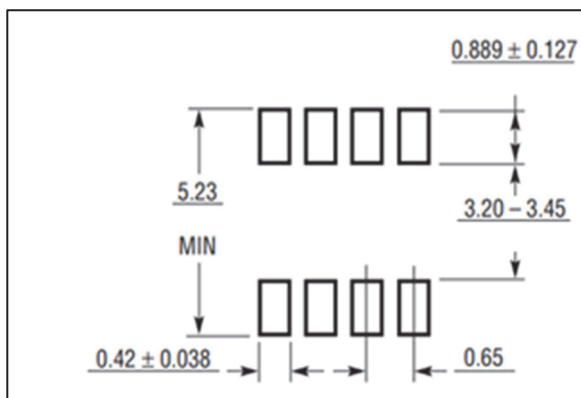


図7 データシートに記載されたフットプリント

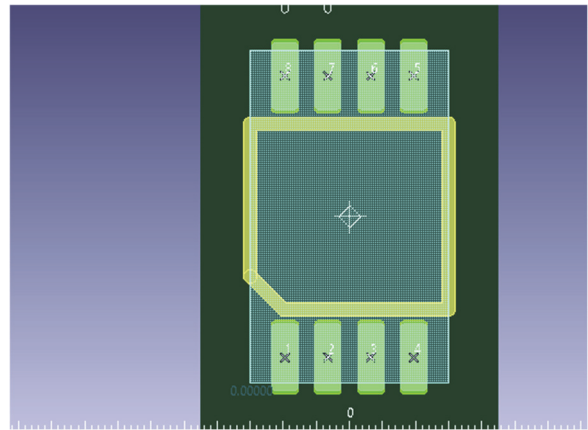


図8 設計したフットプリント

2 メタルマスク製作

クリームはんだを塗布するためのメタルマスクは、企業では外注で製作されたステレンス製のものを使用するが、実習では指導員が基板加工機でポリイミドフィルムに加工した。クリームはんだの塗布量を左右するメタルマスクは一般的に、厚み $100 \mu\text{m}$ が使われているため、同じ厚さのポリイミドフィルムを用いた。

加工時には通常の銅箔厚 $35 \mu\text{m}$ 、板厚 1.6 mm のガラスエポキシ樹脂基板を反転して、銅箔の無い面で平面を確保した。その上に $100 \mu\text{m}$ のポリイミドフィルムを加工時のずれ防止のため、図 9 に示すようにスプレー糊で固定し、銅箔を削るミールリングカッターで削った。

クリームはんだ印刷機は図 10 に示すフィルムの取り付け用のピンがある。このピンに合致するように図 11 に示すはんだ印刷機取り付け用加工データをメタルマスクデータに追加しておく必要がある。図 12 に示すように、ポリイミドフィルムを加工したメタルマスクを、指導員がはんだ印刷機に取り付けた。



図9 ポリイミドフィルムの貼り付け

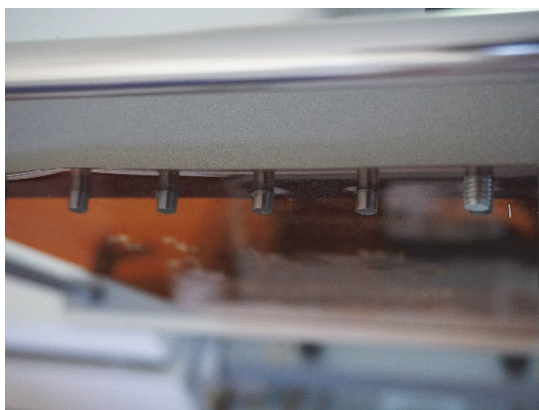


図10 ポリイミドフィルム取り付け用のピン

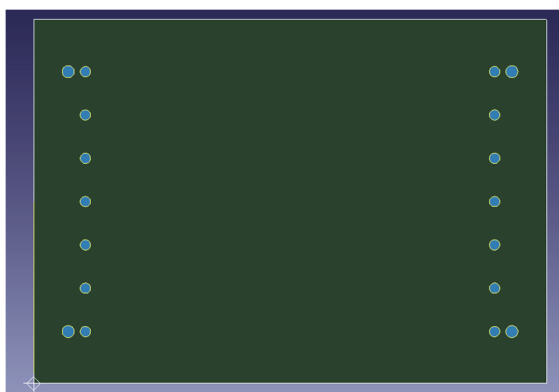


図11 はんだ印刷機取り付け用加工データ

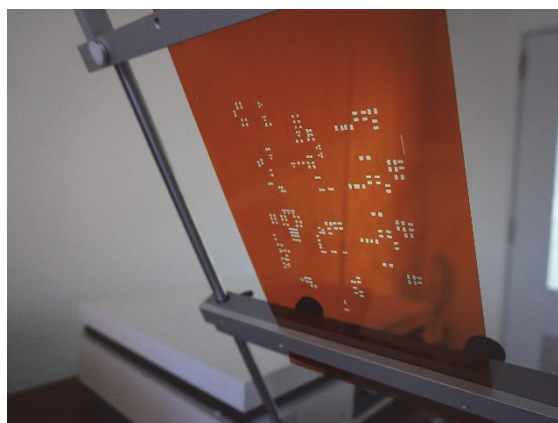


図12 加工したポリイミドフィルムのメタルマスク

3 使用した表面実装部品

使用した主な表面実装部品は図 13 に示すサイズである。確認がしやすいように抵抗は 3.2×1.6 mm、セラミックコンデンサは 2.0×1.25 mm、IC は 0.65 mm ピッチの SSOP (Shrink Small Outline Package) タイプを使用した。

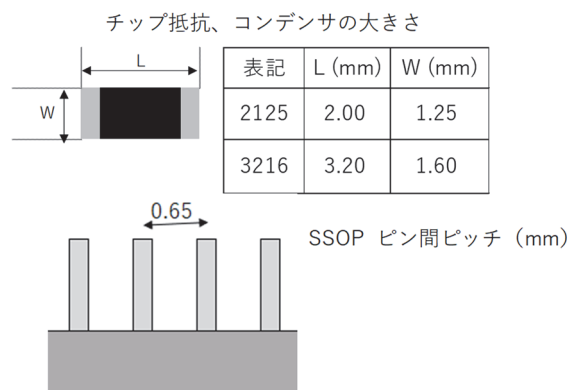


図13 使用した主な表面実装部品のサイズ

4 はんだ印刷工程

図 14 に示す鉛フリークリームはんだは多くの種類があるが、千住金属工業新株式会社の汎用用途「ULT369」⁽²⁾ をメーカー側からの提案で使用した。合金組成としては Sn96.5 % Ag3 % Cu0.5 % とであり溶融温度としては 220°C となる。クリームはんだは冷蔵庫で、 10°C 以下で保管する必要がある。

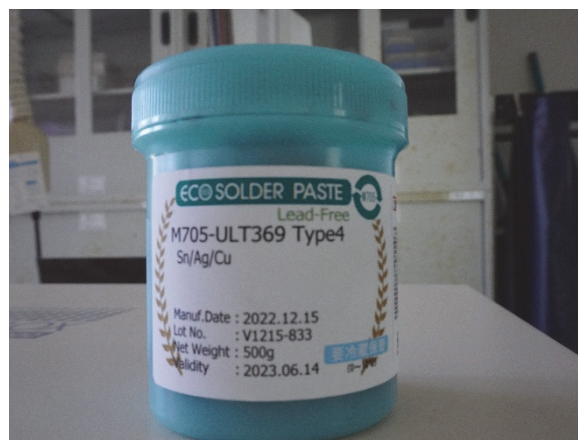


図14 使用したクリームはんだ

クリームはんだ印刷機 ProtoPrint S4 は製作したメタルマスクと基板上のパッドの位置決めの微調整機能があり、図 15 に示すように正確に位置合わせが可能である。図 16 に示すように学生の方でクリームはんだ印刷機のメタルマスクの上から、はんだを塗布してゴムへらで伸ばした。

5 部品実装(マウント工程)

表面実装部品の実装は、チップマウンターの代わりに学生がピンセットを用いて手作業で部品を置いた。部品点数が多くなると、既に実装済みの部品に接触してしま

い、部品がずれる場合があるため、部品が密集している場所は、片側のみをはんだこてで固定するよう学生に指示した。図 17 に実習の実装風景を示す。

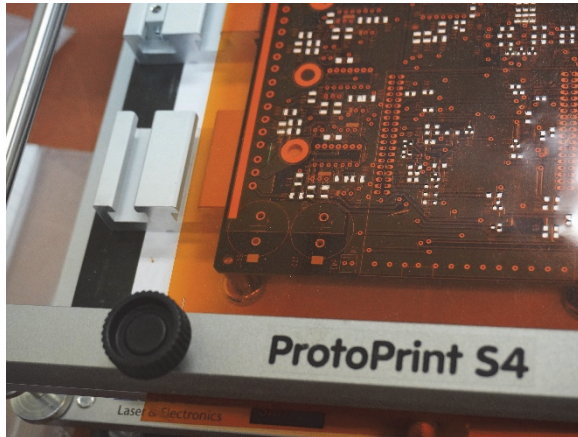


図15 メタルマスクと基板との位置合わせ

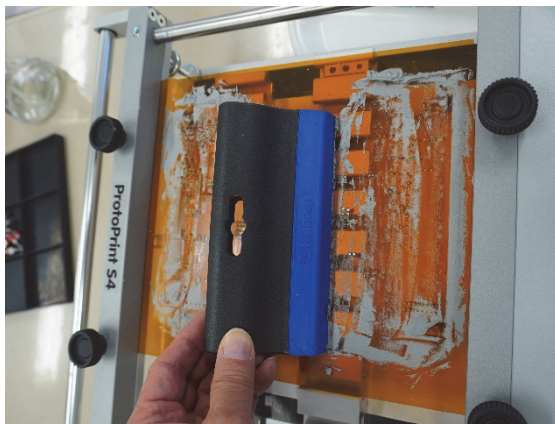


図16 クリームはんだの塗布

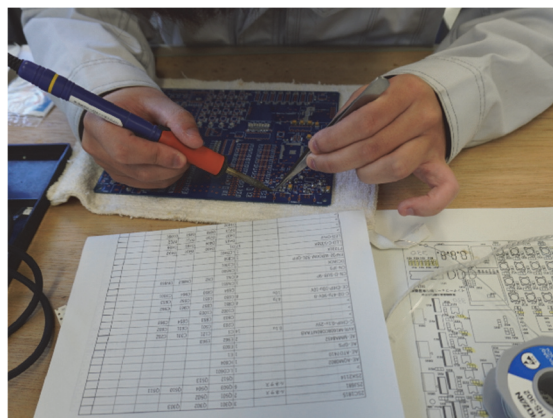


図17 部品実装の様子

6 リフロー工程

図 18 に表面実装部品メーカーが提供するはんだ付

け条件資料からの抜粋による推奨温度条件⁽³⁾を示す。この条件に基づき、リフローオープンの前加熱およびリフロー工程の設定温度と時間は、内部温度を測定しながら試行錯誤を重ねて決定した。最終的に決定した温度プロファイルを表 1 に示す。図 19 に示す基板に熱電対を貼り付けて測定した実際の温度プロファイルは、図 18 のメーカーの推奨温度条件どおりであることが確認できた。

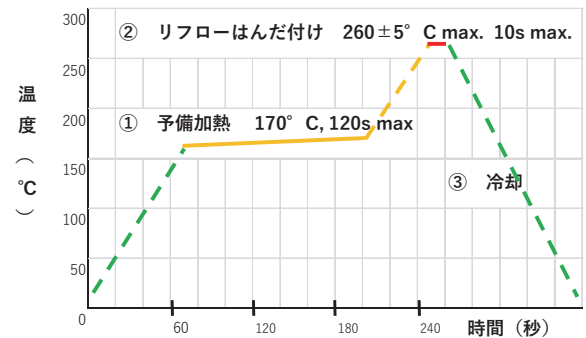


図18 リフローの温度条件例

表1 設定した温度プロファイル

プロセス	温度	時間
① 予備加熱	170 °C	180 秒
② リフロー	170 °C ⇒ 260 °C	120 秒
③ 冷却		60 秒

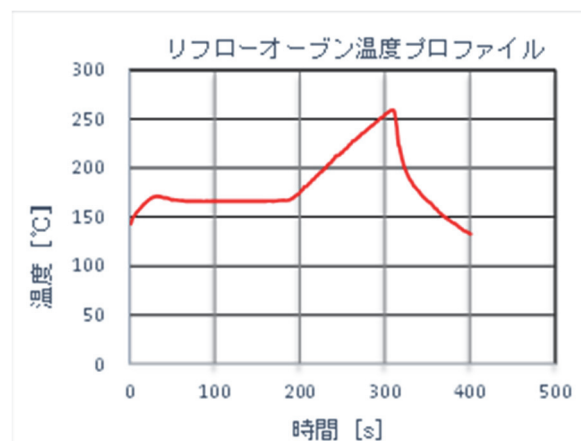


図19 測定したリフローオープンの内部温度

リフローオープンとは図 20 に示すように下側に冷却ファン、内部上部にヒーターが装備されており単相 200 V で動作する。リフローオープンで加熱後の製作した基板を図 21 に示す。0.65 mm ピッチの IC 部品もほぼ正確にはんだ付けができた。しかし、クリームはんだの塗布の

むらにより、IC のピン間のブリッジ、はんだボールやはんだ不足のある基板も確認された。これらリフローはんだ付け特有の不具合についても、学生に認識させ修理方法についても理解させた。



図20 リフローオーブンの内部

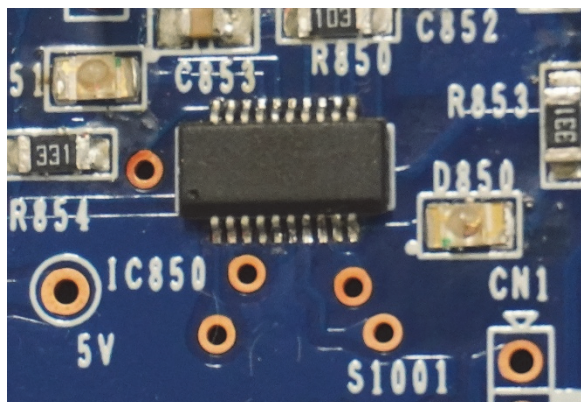


図21 部品実装した基板

V 学生へのアンケート

表面実装部品の実装実習の後に以下のアンケートを実施した。

設問 1：表面実装工程について理解できたか

設問 2：表面実装作業は上達したか

設問 3：表面実装作業の方が短時間で作業できるか

アンケート結果を図 22 に示す。慣れない作業のため時間がかかった学生もいたが、概ねの学生が表面実装部品の作業工程について理解し、作業方法についても一定の技能を習得していたことが確認された。

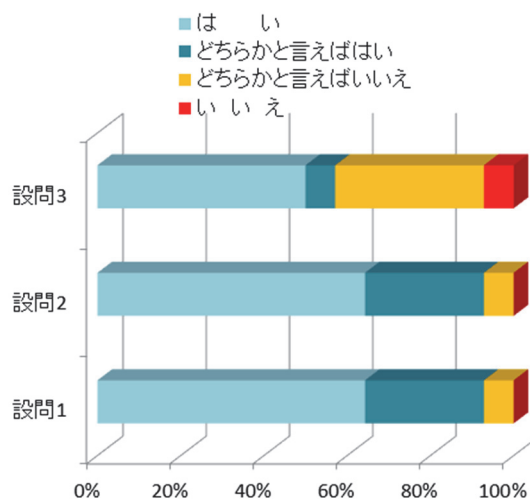


図22 アンケート結果

VI おわりに

表面実装の部品点数が 176 点と非常に多かったが、31 名の学生全員が実装作業を完成させることができた。はんだ不足やはんだボール、IC での隣同士のピンのショートなどの不具合もあったが、表面実装特有の問題についても認識させ、その修理方法も理解させることができた。今後は専門課程 1 年生の専攻実技「電子回路製作実習」において表面実装部品の部品登録も行い、実際にマウンターを用いて電子部品を表面実装してる現場やリフロー工程を工場見学させるなど、より実践的な授業展開を行っていく予定である。

【参考文献】

- (1) リニアテクノロジー株式会社、LTC6012 データシート (Rev E)、pp16。
- (2) 千住金属工業 はんだ付け材料総合カタログ、pp3。
https://www.senju.com/ja/download/pdf/2024_SMIC_SOLDER_catalogue_JP_992K_1.pdf。
- (3) ローム株式会社、半田付条件資料。
https://fscdn.rohm.com/en/techdata_basic/diode/soldering_g_condition/Soldering_PMDS-j.pdf。