

大熱容量はんだ付け作業を習得するための練習基板の製作と評価

大野崇浩^{*1}, 大本 豊^{*2}, 田村仁志^{*3}, 小野寺理文^{*3}, 花山英治^{*3}

本研究では、訓練生がはんだ付けの技能を効率的に習得できる練習用基板の開発を行った。開発した練習基板を効果的にはんだ付け実習に適用できるように訓練マニュアルを作成し研究授業を行った。研究授業を通して、訓練生が行ったはんだ付けをサンプルとして取得し、はんだ付け品質を点数化することで定量的に訓練効果を調査した。これにより、提案する練習用基板を用いた実習は、これまで一般的に行われてきた実習に比べて高い訓練効果が得られることを確認した。
Keywords : はんだ付け, 教材開発, 効率的技能習得, 高度養成課程。

1. 緒言

電子機器を製作するうえで、電子部品やプリント基板、電線などを相互に接続するために、はんだ付けは欠かせない作業である。確実なはんだ付け作業を行うことが製品の信頼性を高めることにつながる。現在、大量生産されている家電製品に組み込まれるプリント基板のはんだ付け作業の多くは自動化されている。しかしその一方で、少量生産品や試作品、高周波回路などにおいては手作業によるはんだ付けが必要となる場合もいまだ多い。全国の職業能力開発大学校においても、主に電子情報系や電気系学科で、はんだ付け技能習得のための訓練が行われている。

はんだ付けが確実に行われていると判断される重要な条件の一つとして、部品やプリントパターンなどの母材表面がはんだでぬれることが挙げられる[1], [2], [3]。このためには、はんだ付け作業の際に、母材がはんだの熔融温度よりも十分に高くなる必要がある。

訓練の現場では、基礎的な講義と実演を交えながら、母材を「しっかり温める」ことの重要性を理解させようとする。ところが、実習中に訓練生がコツをつかむことができずに苦勞をしている光景がしばしば見受けられる。完成した基板のはんだ付けを評価すると、特に熱容量の大きな母材において、加熱不足によりはんだ不良になってしまったと判断されることが多く見られる。この原因は、指導の際に、母材を「しっかり温める」ことの重要性と方法が十分に伝わっていないことにあると予想される。

本研究では、ベタグラウンドやコネクタ類などの熱容量の大きな、はんだ付けが難しい箇所の作業が効率的に習得できる練習基板を提案する。提案する練習基板を、研究授業として近畿職業能力開発大学校(以下、近能大という)の電子情報系応用課程および専門課程、職業能力開発総合大学校(以下、職業大という)の電子情報専攻におけるはんだ付け実習に適用した。この実習において、練習基板の実習経験の有無によって、訓練生が行うはんだ付けの仕上がり品質にどのような

差が表れるかを定量的に調査した。

研究授業により得られたサンプルをはんだ付け仕上がり品質と作業時間に注目して評価を行ったところ、これまで一般的に行われてきた実習に比べて高い訓練効果が得られることを確認した。練習基板を用いた実習を経験した訓練生は、良好なはんだ付けに必要な諸条件を、知識だけではなく自分の手で試し、目で見て確認することで理解できるようになった。

2. はんだ付け不良の例と原因の考察

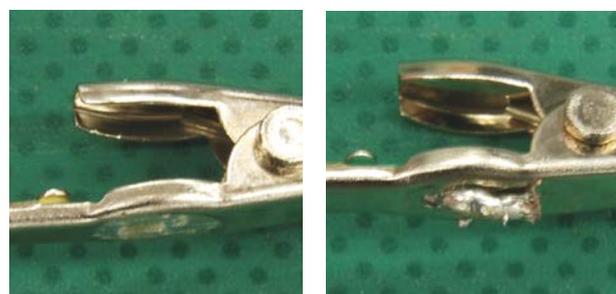
はんだ付けの品質を評価するとき、評価者が最初に注目する点は、母材にはんだが十分にぬれてフィレットが形成されているかどうかである。それには、はんだを供給する前に母材をはんだこてで加熱し、母材の温度がはんだの融点よりも高くなっている必要がある。



(a) 良品

(b) 不良品

図1 はんだ付け仕上がり例 (ベタグラウンド)



(a) 良品

(b) 不良品

図2 はんだ付け仕上がり例 (ミノムシクリップ)

^{*1} 電子情報技術科
(現 職業能力開発総合大学校基盤整備センター)

^{*2} 生産電子情報システム技術科
(現 京都職業能力開発短期大学校)

^{*3} 職業能力開発総合大学校

このとき、プリント基板のベタグラウンドや、コネクタ類などを母材としたはんだ付けにおいては、これら母材の熱容量が大きいいため加熱されにくく、十分にはんだ付けの知識と技能を身につけた作業員でないと高品質な仕上がりとはならない。図1にベタグラウンド、図2にミノムシクリップへのはんだ付けの仕上がり例をそれぞれ示す。図1、2共に(a)は良品、(b)は不良品とそれぞれ判定された。良品では山の裾野が広がるようなフィレットが形成されているのに対し、不良品は母材にはんだがぬれていない様子がわかる。

このようなはんだ付け不良は、冷はんだ、コールドジョイントなどと呼ばれ、加熱不足が主な原因である。ここで、そもそも加熱不足となるのは、①熱容量の概念が理解できていない、②はんだこてと母材の接触面積が小さい、③はんだこて先の洗浄ができていない、④母材の熱容量にあわせてはんだこてを選択することができていない、などが理由として挙げられる。また、はんだ付けの仕上がりが悪くなる他の要因としては、①はんだがぬれる様子をイメージできない、②フラックスの重要性を理解していない、③はんだ付け作業に対する苦手意識を持っている、などが推測される。

さらに、プリント基板と電子部品、コネクタ類、被覆電線などを利用する、一般的に行われるようなはんだ付け実習においては、電子部品を適切にプリント基板へ挿入・固定したり、被覆電線の被覆を除去し予備はんだを行ったうえで端子にからげたりと、はんだ付け作業に付随する工程まで説明する必要がある。これにより訓練生は、金属にはんだを付けるという肝心な作業に集中して実習を行うことができない。

プリント基板や電子部品を用いてはんだ付け作業を指導するよりも、上記の問題点を克服できるような練習用教材を開発することで、訓練効果を向上させるこ

とができるという仮定のもと、以下の検討を行った。

3. 練習基板の提案

図3に本研究で提案する練習基板を示す。基板には表1にまとめるように、直径1.8mmから12.0mmまで合計39個のランドが用意してある。これらランドに穴は開いておらず、したがって部品を挿入することもなく、純粋にはんだ付けそのものについて集中的に実習を行うことができる。この練習基板を使用する実習では、小さなランドから順番にはんだ付けを行う。ランド直径が小さなうちは、ランドの加熱を特に意識しなくても容易にはんだ付けを行うことができる。ところが、ランドの直径が徐々に大きくなることで、熱容量も段階的に大きくなり、はんだ付けが難しくなっていく。指導員は講義と実演を交えながら、はんだが母材にぬれる現象を訓練生に体感させ、はんだ付け作業を行う際の注意点を理解させる。熱容量の違いにより難易度が変化することを体験できる教材を使用することで、訓練生はさまざまな気づきを得ることができる。

4. 研究授業の展開

提案した練習基板を用いて近能大と職業大の訓練生を対象として研究授業を行った。対象とした科、学年と人数を表2に示す。いずれの学年においても、はんだ付けの基本的な実習は経験済みである。

練習基板の効果を測定するために、①ランド径2.0mmのプリントパターンと抵抗器、②ミノムシクリップと電線、③SMAコネクタとベタグラウンド、④スルーホール付きのベタグラウンドと抵抗器、をサンプルとしてはんだ付けを行った。①以外は熱容量の大きな母材であるため、難易度の高いはんだ付けである。

これらのはんだ付けの品質を①練習基板を用いた実習の前後、②練習基板を用いた実習を経験した群と経験していない群、において比較し練習基板の訓練効果を確認した。

5. 実習のすすめ方

練習基板を用いた実習を行うにあたっては、訓練生が自分勝手に作業を進めないことを指導することが重要である。この実習では、最初は特に難しいことを考える必要もなく作業を進めることができるため、容易に達成感を得られることから、訓練生は次々と作業を進めがちとなる。この実習は訓練シナリオに従って作業をすすめることで、高い訓練効果が得られるよう設計されているため、指示範囲内の作業を終えたら待つことを訓練生に徹底させた。

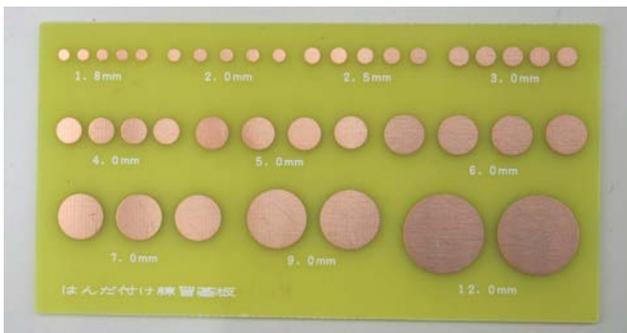


図3 提案する練習基板

表1 ランド直径と配置個数

ランド直径[mm]	配置個数[個]
1.8	5
2.0	5
2.5	5
3.0	5
4.0	4
5.0	4
6.0	4
7.0	3
9.0	2
12.0	2
合計	39

表2 研究授業対象者一覧

大学校名	課程	科名	学年(年)	人数(名)
近能大	応用課程	生産電子情報システム技術科	1	27
近能大	専門課程	電子情報技術科	2	25
近能大	専門課程	電子情報技術科	1	26
職業大	総合課程	電子情報専攻	2	17
職業大	総合課程	電子情報専攻	1	20

訓練シナリオの詳細については文献[4]の付録に訓練指導マニュアルが添付されているが、本稿では例としてランド直径が 1.8mm, 2.0mm, 2.5mm, 3.0mm, 4.0mm までの指導方法について以下に示す。

- ①直径 1.8mm のランドを 2 つはんだ付けする。はんだ付け箇所を指でなぞったときに、指にゴツゴツ当たる感触がない、なめらかな仕上がりにになっているか確認する。なめらかな仕上がりにないときは、加熱時間が長く、フラックスが蒸発してしまっている状態である。反省を踏まえて残りの 3 つをはんだ付けする。作業を終えたことを挙手で指導員に伝えてもらい、1 人ずつ仕上がりの評価や作業のアドバイスをを行う。
- ②直径 2.0mm を作業する前に、待機中にはんだこての電源を切っていたかを確認する。ステーションタイプはこての温度の立ち上がりが早いため、はんだこて先の寿命を長くするためにはこまめに電源を ON/OFF させる必要がある。確認後、2.0mm ランドをすべてはんだ付けする。
- ③直径 2.5mm のランドを 2 つはんだ付けさせる。ここで、はんだこての母材への接触のさせかたを各自確認してもらう。はんだこてと母材が点ではなく面で接触するように指導する。反省を踏まえて残りの 3 つをはんだ付けする。
- ④直径 3.0mm を 2 つはんだ付けする。ここで、はんだの供給方法について確認させる。はんだをはんだこてで直接溶かして作業している訓練生が多いことが予想される。この方法ではフラックスが蒸発しやすく、仕上がりの悪化につながる。はんだこてでランドを加熱し、はんだをランドに供給することで、ランドではんだが溶ける様子を体験させる。
- ⑤直径 4.0mm を 4 つはんだ付けする。ランド直径が大きくなるとともに熱容量が増大し、はんだ付けが難しくなっていることが実感できる。ここでもランドではんだを溶かすことを心がける。さらに、ここではフラックスの重要性を説明する。はんだが付いている直径 4.0mm のランドのいずれかをはんだこてで再加熱し、フラックスを蒸発させてみる。フラックスが蒸発すると、はんだの粘性が増すことで仕上がりが悪化することが確認できる。最後に再びはんだを供給すると、糸はんだに含まれるフラックスも供給され、仕上がりが良くなる。これによりフラックスの効果が実感できる。

このようにランドの直径が大きくなることで徐々にはんだ付けの難易度が上がっていくなかで、タイミング良くはんだ付けのコツを伝えていく。はんだを母材にぬれさせることを集中的に繰り返し行うことで、直径 12mm のランドに達する頃には多くの訓練生がそれぞれに様々な気づきを得られているように観察された。

研究授業で使用したはんだこては、近能大においては温度コントローラー付きのステーションタイプで、温度設定は 350℃とした。職業大においては温度コントローラーなしのはんだこてを使用した。

はんだ付けは手元で行う作業であるため、指導員の作業手本を直接多数の訓練生に見せるのが比較的難しいが、今回の研究授業では図 4 に示すように書画カメ



図 4 実習風景

ラを利用してスクリーンに投影することで一斉提示した。

6. はんだ付け品質の評価方法

はんだ付けの仕上がり品質の評価は日本溶接協会が定めるマイクロソルダリング品質判定基準^[1]を参考に点数化を行った。はんだ付け箇所ごとに、同判定基準に従ってソルダ量過剰、ソルダ量不足、ぬれ不良、表面荒れ、コールドジョイント、基板の過熱損傷、ソルダクラック、ピンホール、つらら、その他外観異常があった場合には不良品と判定し、これら異常が見られない場合には良品と判定した。良品・不良品判定の例を図 5 に示す。ここでは、プリント基板に抵抗器を挿入実装する作業を行った。図の中で、不良箇所には油性ペンでチェックがついている。この例では、配線パターンと余白部分にはんだブリッジが見られるため不良と判定された。

はんだ付けの仕上がり品質に関しては、はんだ付け箇所ごとに良品を 1 点、不良品を 0 点として点数化を行う。例えば、図 5 においては 4 箇所の良品判定があるので得点は 4 点である。また、サンプルの品質比較を行う際には、良品と判断された箇所数を全はんだ付け箇所数で割ることにより規格化を行った。本研究ではこれを規格化スコアと表現している。全はんだ付け箇所が良品であれば、規格化スコアは 1 となる。図 5 では 6 箇所のはんだ付けの中で良品は 4 箇所なので、規格化スコアは 0.67 である。

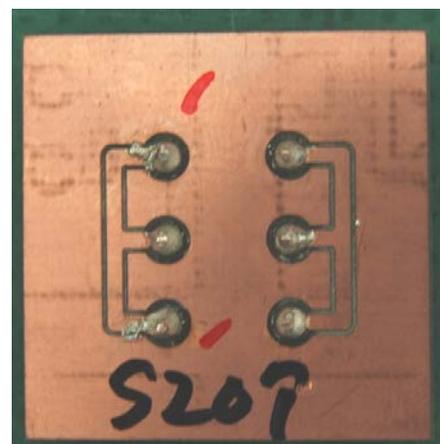


図 5 良品・不良品判定の例

7. 訓練効果の測定結果

図6と図7は、練習基板を用いた実習の前後ではんだ付け品質を、ミノムシクリップと SMA コネクタをサンプルとしてそれぞれ比較した例である。図中の規格化スコアは群ごとの平均値を表す。全体的に、練習基板の実習を経験した後はスコアが向上している。また、図8は練習基板を用いた実習を経験する前と後での訓練生の技能向上を表す例である。この例では、実習前に全く完了できなかったはんだ付けが、実習後には良品判定を得られるまでに上達しており、練習基板の効果をうかがうことができる。

しかしながら、同じサンプルを複数回はんだ付けした場合、繰り返し作業を行った仕上がり品質が向上するのは自明であるともいえる。そこで練習基板を用いた実習を経験したA群と、経験していないB群に分けた対照実験によりさらなる検討を行った。

図9にミノムシクリップと SMA コネクタをサンプルとした対照実験の結果を示す。A群、B群ともに、1回目と2回目の作業の冒頭では、作業の要点について見本を示しながら説明した。ここで、A群のみ1回目と2回目の間に練習基板を用いた実習を行った。図9に示す結果から、B群が行ったはんだ付けの仕上がり品質が2回目であっても向上していないのに対して、A群では明らかに向上していることがわかる。これらの検討により、本研究で提案する練習基板に高い訓練効果があることを確認した。

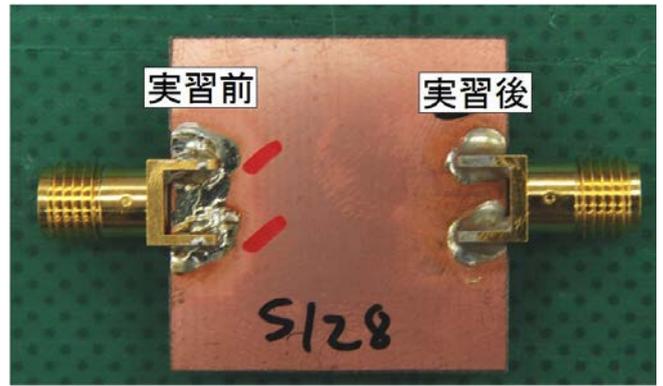


図8 技能向上の例

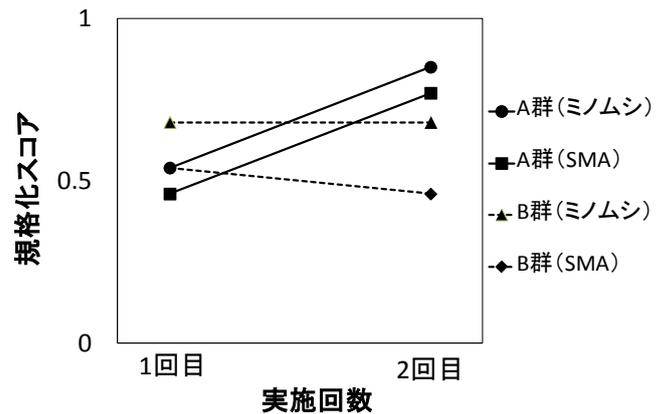


図9 練習基板の実習を経験した群 (A 群) と経験していない群 (B 群) の比較

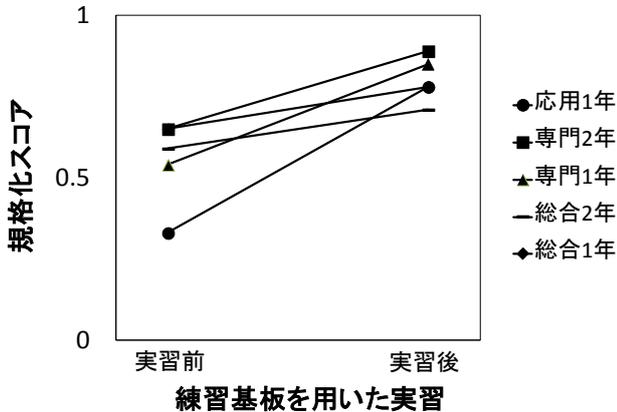


図6 練習基板を用いた実習前後での仕上がり品質の変化 (ミノムシクリップ)

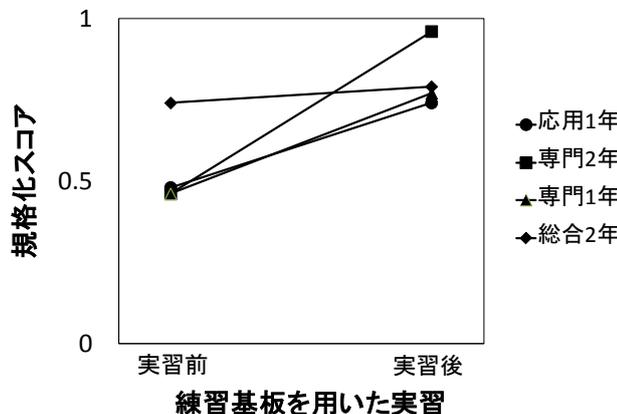


図7 練習基板を用いた実習前後での仕上がり品質の変化 (SMA コネクタ)

8. 結言

普段の訓練の現場において、特に熱容量の大きな母材のはんだ付け作業がうまくできない訓練生を多くみかけることから、本研究では、その理由を考察したうえで、効率的にはんだ付け技能を習得できる練習基板を提案した。提案する練習基板を研究授業に適用し、訓練生が行ったはんだ付けの品質を定量評価した結果、この練習基板を利用した実習に高い訓練効果があることを確認した。また、この練習基板を用いた実習を誰でも行えるよう訓練マニュアルを作成することで、はんだ付け教材として一定の完成度が得られた。

今後はこの教材を訓練の中で活用することで、はんだ付け技能の早期習得をテーマとしてさらなる検討を続けていきたい。

文献

- [1] 日本溶接協会：「マイクロ溶ダリング技術認定・検定試験における品質判定基準」日本溶接協会 (2006).
- [2] 野瀬昌治：「目で見てわかるはんだ付け作業」日刊工業新聞社, pp. 70-73 (2009).
- [3] 竹本正：「ろう付およびマイクロ溶ダリング」溶接学会誌, 第77巻, 第7号, pp. 42-49 (2008).
- [4] 大野崇浩：「大熱容量はんだ付け作業を習得するための練習基板の製作と評価」平成27年度職業能力開発総合大学校高度養成課程研究論文, (2015).

(2016年06月08日提出)