

テーマ 「職業能力開発の実践」

副 題 ストラップ配線技能を習得するための
教材開発に関する研究

所属施設 独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構
執筆者 東 正登（近畿職業能力開発大学校）

第1章 はじめに

1.1 研究の背景

手作業によるはんだ付けの品質は、作業者の経験や技量への依存性が大きく、高品質・高信頼性の確保は重要な課題となっている。そのため、職業能力開発大学校では、品質・信頼性の高いはんだ付け作業ができる学生を育成することが求められており、実習科目や技能検定取得などへの取組みの中で、はんだ付け技能を習得させている。しかしながら、順調にはんだ付け技能を習得する学生がいる一方で、なかなか上達しない学生も存在するという状況にある。

1.2 近畿職業能力開発大学校におけるはんだ付け教育の現状

職業能力開発大学校におけるはんだ付け教育の現場では、技能検定「電子機器組立て」の受検や電子機器組立てに関する競技大会への参加をとおして、品質の高いはんだ付け技能の習得に取り組んでいる^{[1], [2]}。

表 1.1 に近畿職業能力開発大学校（以下、近畿能開大という）電子情報技術科におけるはんだ付け作業を伴う実習科目と、課題内容、学年、標準的なはんだ付け作業時間を示す。近畿能開大電子情報技術科では、1年次の早い段階から複数の実習科目の中ではんだ付け作業の練習を行っている。学生は、表 1.1 に示されている科目の中ではんだ付け作業を行い、はんだ付け技能を高めていく。確実なはんだ付けを行うための重要な条件の一つに、部品やプリントパターンなどの母材表面にはんだがぬれ拡がるのが挙げられる。このためには、母材の温度がはんだの熔融温度よりも十分に高くなる必要がある。したがって、指導の際には、講義・実演と実習を交えながら母材をしっかりと温めることの重要性を繰り返し指導している。ところが、学生がコツをつかめずに苦勞している光景がしばしば見受けられる。特に、ユニバーサル基板へのストラップ配線は、ユニバーサル基板上のランドと部品に加えて、錫めっき線の三つを同時に加熱する必要があることや錫めっき線の配置や固定、はんだこての当て方など、考慮しなければならない要素が多い。部品とランドの二つを同時に加熱してはんだ付けを行うプリント基板と比較すると、難易度が高いためはんだ付け不良が多く見られる。この原因の一つには、指導の際には、はんだ付けのノウハウを十分に伝えることができていないことが予想される。

表 1.1 はんだ付けを伴う科目（専門課程）

| 科目名 | 学年 | 実習課題 | 標準作業時間 |
|------------------------|----|--|--------|
| 電気電子工学実験 | 1年 | ・技能検定3級(プリント基板) ・ミノムシクリップ | 80時間 |
| アナログ回路基礎実習 | 1年 | ・可変電圧電源回路(ユニバーサル基板) | 5時間 |
| 電子回路設計製作実習 | 2年 | ・SW入力回路基板, 7セグメントLED表示器基板, LCD表示器基板(プリント基板) | 10時間 |
| 組込み機器製作実習 組込み機器製作技術 | 2年 | ・マイコン基板, センサ基板, モータードライバ基板(ユニバーサル基板) リモコン回路基板(プリント基板) | 20時間 |

1.3 研究の目的

前節までに述べた状況を踏まえ、本研究では、ユニバーサル基板へのストラップ配線技能を効果的に習得できる教材を開発し、実際に訓練で使用したときの効果を明らかにすることを目的とする。研究の方法は以下のとおりである。

- ① ユニバーサル基板へのストラップ配線技能の現状を分析するために、ユニバーサル基板へのはんだ付け経験を有する近畿能開大電子情報技術科2年生(以下、専門課程2年生という)が製作したストラップ配線基板の評価を行う。
- ② ①の評価結果より不良項目を分析し、原因の考察を行う。
- ③ 教材開発の検討を行う。
- ④ 開発した教材を用いて研究授業を実施し、訓練効果の評価を行う。

第2章 ストラップ配線技能の現状分析

2.1 ストラップ配線技能の現状評価結果

本研究を進めるにあたり，はじめにストラップ配線技能の現状の調査を行った．調査内容は，専門課程2年生22名がおのおの製作したストラップ配線基板のはんだ付け品質を評価した．評価用の基板は，2016年7月25日にアナログ回路実習で製作したストラップ配線基板を用いた．この時期の専門課程2年生は，すでに，電気電子工学実験，アナログ回路基礎実習，電子回路設計製作実習において，プリント基板へのはんだ付け，およびユニバーサル基板へのストラップ配線を経験している．図2.1に評価を行った基板を示す．

図2.1(a)は，ユニバーサル基板に抵抗が9本配置されており，錫めっき線は接続されていない．図2.1(b)は，回路が構成されており，抵抗，コンデンサ，ICソケット，チェック端子のリード線間が錫めっき線で接続されている．評価結果を表2.1に示す．また，評価対象とした実装形態を図2.2に示す．評価は，図2.2(a)のクリンチ実装した抵抗を接続する接続点396点（学生1人当たり18接続点），図2.2(b)のクリンチ実装した抵抗と錫めっき線の末端を接続する接続点220点（学生1人当たり10接続点），図2.2(c)の錫めっき線の配線の方向を直角に曲げて接続するL字接続点88点（学生1人当たり4接続点），図2.2(d)の錫めっき線をT字に配置して接続するT字接続点132点（学生1人当たり6接続点）に対して行った．なお，図2.2(a)～(d)をそれぞれ「抵抗」，「抵抗 - 錫めっき線」，「L字」，「T字」と表記している．

評価方法は外観観察として，評価基準は日本溶接協会が定める品質判定基準^[3]と技能検定1級（電子機器組立て作業）の仕様に従った．評価の結果，合計接続点数836点に対して8.1%が良品と判定された．評価結果より，ユニバーサル基板を用いたストラップ配線技能の習得度が，極めて低いことが明らかになった．

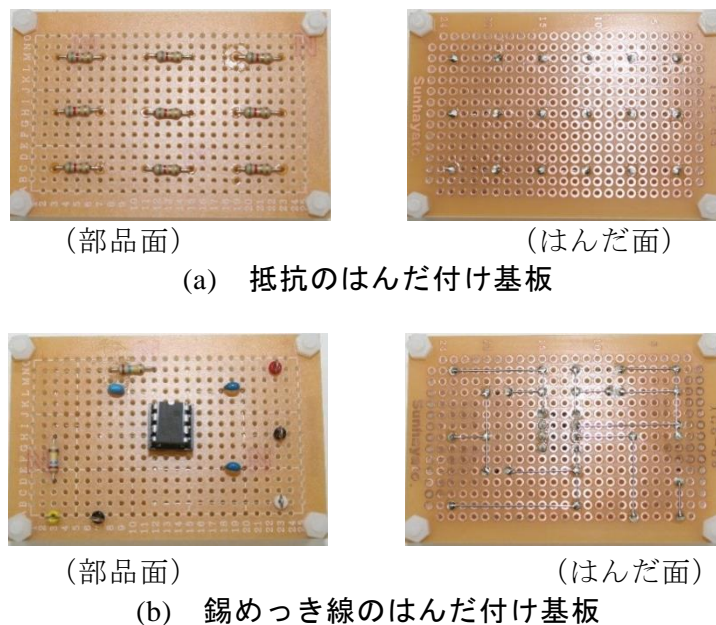
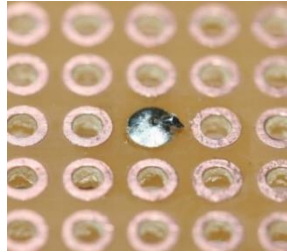


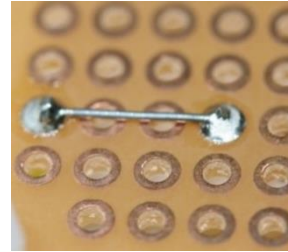
図 2.1 現状評価用基板

表 2.1 ストラップ配線技能の現状評価結果
(専門課程 2 年生 22 名分)

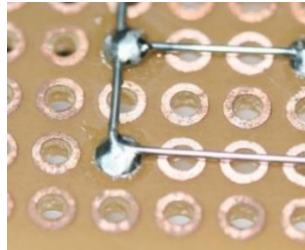
| | 抵抗 | 抵抗－錫めっき | L 字 | T 字 | 合計 |
|--------|------|---------|------|------|------|
| 接続点数 | 396 | 220 | 88 | 132 | 836 |
| 良品(%) | 12.9 | 4.5 | 4.5 | 2.3 | 8.1 |
| 不良品(%) | 87.1 | 95.5 | 95.5 | 97.7 | 91.9 |



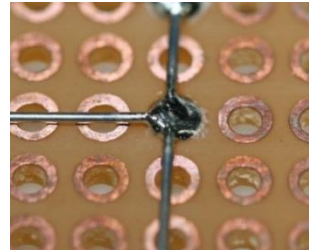
(a) 「抵抗」のはんだ付け



(b) 「抵抗－錫めっき」のはんだ付け



(c) 「L 字」のはんだ付け



(d) 「T 字」のはんだ付け

図 2.2 はんだ付けの実装形態

2.2 はんだ付け不良の分析

表 2.1 に示した不良品に対して、どのようなはんだ付け不良が発生しているのかを分析するために、不良項目ごとの割合を求めた。不良項目は、技能検定 1 級（電子機器組立て）の配線仕様、および日本溶接協会が定める品質判定基準^[3]に準じた。図 2.3 は、表 2.1 に示した不良品接続点計 768 点における不良項目の割合を示している。不良項目は、ソルダ量過剰が最も多い割合で生じており、次いでぬれ不良・コールドジョイント、つらら、成形不良が多く生じている。図 2.4 に不良項目の一例を示す。図 2.4(a)～(d)は、それぞれ、ソルダ量過剰、ぬれ不良、つらら、成形不良の例を示している。このようなはんだ付け不良は、主に次の 5 点が不適切なために生じていると考えられる。

- ① はんだ供給量
- ② こて先の姿勢・加熱位置
- ③ 加熱温度・加熱時間
- ④ こて先や接合面の洗浄
- ⑤ 品質基準の理解

手作業によるはんだ付けにおいて、上記①～⑤の条件設定や作業の安定性を確保することは容易ではない。特に、ユニバーサル基板へのストラップ配線は、ランドと

部品，錫めっき線の三つを同時に加熱する必要があることや，錫めっき線を固定しながらはんだを供給し，さらにはんだこてで加熱する必要があることから，作業の難易度が高い．ユニバーサル基板へのストラップ配線で具体的な電子回路基板を製作する実習指導の前段階で，上記①～⑤の不適切さを克服できるような教材を用いた実習を行うことで，訓練効果を向上させることができると予測される．

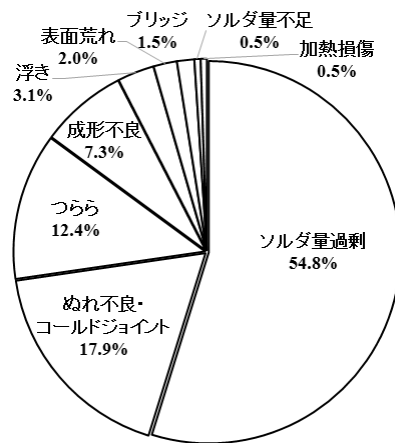
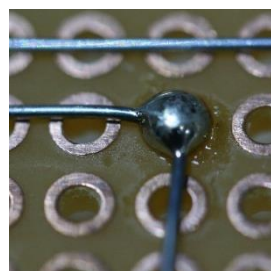


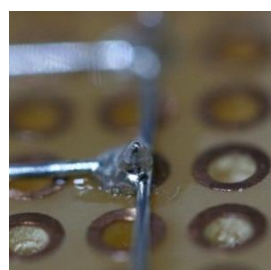
図 2.3 不良接続点における不良項目の割合



(a) ソルダ量過剰の例



(b) ぬれ不良の例



(c) つららの例



(d) 成形不良の例

図 2.4 不良項目の例

第3章 教材の提案

3.1 概要

前章の現状分析の結果より，①適切なはんだ供給量，②こて先の適切な姿勢・加熱位置，③適切な加熱温度・加熱時間，④こて先や接合面の洗浄，⑤品質基準を形式化した上で教材を開発し訓練を行うことで，ストラップ配線技能を効果的に習得することができると考え，教材開発の検討を行った．検討の内容を以下に示す．

- (1) 上記①について，品質基準を満たすはんだ供給量の目安を定量的に示し，教材を提案する．
- (2) 上記②～⑤について，作業手順の提示方法を検討し，教材を提案する．

3.2 教材開発の検討

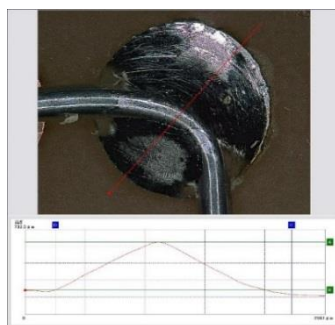
3.2.1 はんだ供給量の目安の検討

図 3.1 に，日本溶接協会が定めているクリンチ実装およびストレート実装におけるソルダ量過剰の外観基準を示す．組立基準は，部品リードの線筋が想像できること，フィレット面が直線までを良品とすると規定されている^[3]．

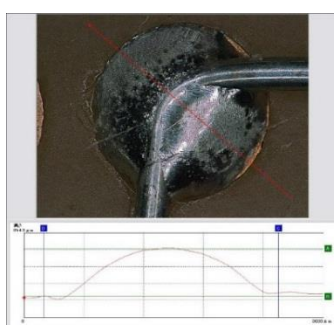
| 名称 | 図示説明 | 要求基準 | 組立基準 |
|--------|------------------------|--|---|
| ソルダ量過剰 | (クリンチ実装) (ストレート実装) | ・余分なはんだで覆われた線筋の見えないリード又はアウトラインは許容されない。 | ・部品リードの線筋が想像できること。 ・フィレット面が直線までを良品限度とする。 |

図 3.1 ソルダ量過剰の外観基準

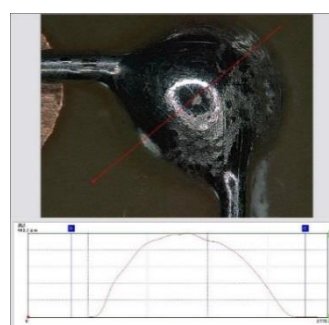
そこで，規定を満たすはんだ供給量の範囲を，供給したはんだの重量と長さで定量的に示すために実験を行った．最初に，はんだ供給量の重量を測定した．重量の測定は，2.1 節，図 2.2 の実装形態に示した「抵抗」，「抵抗－錫めっき線」，「L 字」，「T 字」について行った．重量の測定方法は，(A) はんだ付けを行う直前のユニバーサル基板の重量を測定する．(B) ユニバーサル基板にはんだ付けを行い，(A) の重量を基準として，はんだ付け直後のユニバーサル基板の重量を測定する．(B) の測定結果を供給したはんだ重量とする．ここで，はんだ付けには，ランドピッチ 2.54 mm，ランド穴径 $\phi 1.0$ mm のユニバーサル基板（サンハヤト ICB88）および $\phi 0.4$ mm の錫めっき線， $\phi 0.6$ mm の鉛フリーはんだ（千住金属 ESC21-F3-M705-0.6）を使用した．これらの条件は，一般的にストラップ配線で回路を組み立てるときに用いられるものである．また，測定には，最小表示 0.1 mg の電子はかり（エーアンドディー社製 HR-200）を用いた．重量の測定を行ったはんだ付けが規定を満たしているかの判断は，デジタルマイクロスコープ（KEYENCE VHX-500F）で拡大して測定した 3D プロファイルにより行った．規定を満たすはんだ供給量の重量の範囲を得るために，はんだ供給量を少しずつ変化させて重量を測定し，3D プロファイルにより良否を判定する．図 3.2 に測定結果の一例を示す．図には，はんだ重量測定結果とデジタルマイクロスコープで測定した 3D 画像，画像の水平方向または垂



3D 画像とプロファイル
はんだ重量：2.8 mg
(a) 良品



3D 画像とプロファイル
はんだ重量：5.1 mg
(b) 不良品



3D 画像とプロファイル
はんだ重量：8.4 mg
(c) 不良品

図 3.2 「L 字」の測定結果

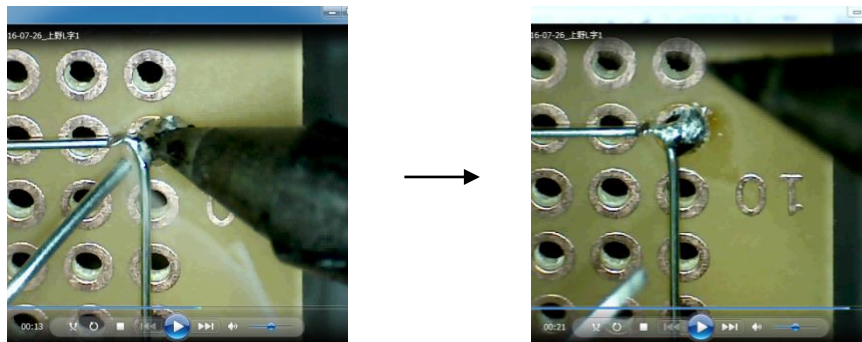
直方向のプロファイル波形を表示している。図 3.2(a)のはんだ重量は 2.8 mg であった。L 字に配置された錫めっき線に対してフィレットが形成されており、錫めっき線の線筋もわかるため良品と判定した。図 3.2(b)のはんだ重量は 5.1 mg であった。L 字に配置した錫めっき線の線筋がうっすらと確認できる。しかし、フィレット面が直線を超えているため不良品と判定した。図 3.2(c)のはんだ重量は 8.4 mg であった。錫めっき線の線筋は完全に埋もれており、フィレット面も直線を超えているため、不良品と判定した。「抵抗」、「抵抗－錫めっき線」、「T 字」についても同様に重量の測定と判定を繰り返して、判定結果より、はんだ重量は、およそ 3～5 mg の範囲が適切な量であることが明らかになった。

次に、 $\phi 0.6$ mm の糸はんだを用いて、規定を満たす重量の範囲となる糸はんだの長さの推定を行った。推定方法は、 $\phi 0.6$ mm の糸はんだを約 2 mm 溶かしたときの重量を測定し、上述したはんだ重量の目安 3～5 mg の範囲に相当する糸はんだの長さを求めることとした。糸はんだを約 2 mm 溶かしたときのはんだ付けと重量の測定を 30 回繰り返して求めた測定結果は、平均 3.3 ± 0.29 mg であった。したがって、規定を満たす重量の範囲とした 3～5 mg となる $\phi 0.6$ mm 糸はんだの長さは、約 1.8～3.0 mm と推定した。以上より、規定を満たす $\phi 0.6$ mm 糸はんだの使用長さの目安は、約 2～3 mm とし教材を開発することとした。

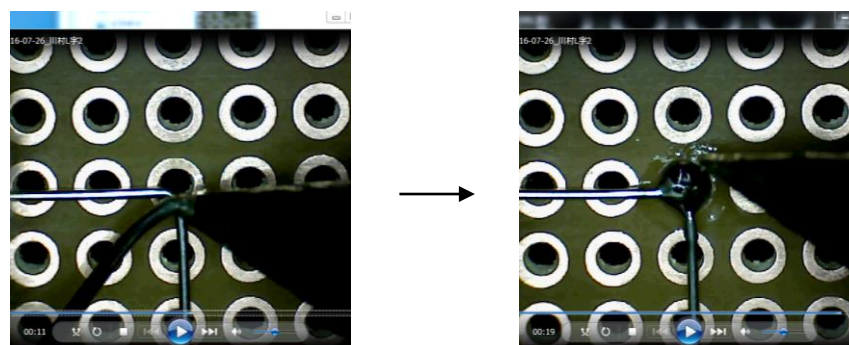
3.2.2 作業手順の提示方法の検討

ストラップ配線におけるはんだ付け作業手順の提示方法を検討するにあたり、現状の作業状態を確認するために、専門課程 2 年生 21 名分のストラップ配線におけるはんだ付け作業の動画を撮影した。動画は、デジタルマイクロスコープ（TEC 社製 HidemicronPro）を用いて、手元を拡大して撮影した。撮影した動画を観察した結果、3.1 節で示したこて先の適切な姿勢・加熱位置、適切な加熱温度・加熱時間、品質基準の理解、錫めっき線の配置・固定などが不適切な状態で作業を行っていることを確認することができた。

図 3.3 に動画の一例を示す。図 3.3 は加熱位置、加熱時間が不適切な状態ではんだ付け作業を進めている例を示している。画像左下の再生時間の表示より時間経過がわかる。図 3.3(a)は、こて先の洗浄と加熱位置が不適切なため、はんだを供給してから 10 秒以上加熱し続けてもはんだが拡がらず、はんだ付け不良が生じている。図 3.3(b)は、はんだを直接こてに当ててはんだ付け作業を進めている例である。この例は、加熱位置が不適切なため、はんだがなかなか溶けずに、最終的には、こてにはんだを直接当ててはんだ付けを行っている。こてにはんだを直接当てたままではんだ付けを行うと、加熱時間やはんだ供給量の調整ができないため、はんだ付け不良が生じる。21 名分の動画を観察した結果、特に①こて先の適切な姿勢・加熱位置、②適切な加熱時間、③こて先の洗浄、④品質基準がうまく伝わっていないことが確認できた。以上の検討を踏まえて、上記①～④の内容を動画として提示したテキストを作成することとした。



(a) はんだが拡がらず不良が生じた例



(b) はんだを直接こてに当てて溶かしたため不良が生じた例

図 3.3 加熱位置、加熱時間が不適切な例

3.3 教材の提案

前節の検討内容から、本研究で提案する教材を図 3.4, 図 3.5 に示す. 図 3.4 に示すはんだは, $\phi 0.6\text{ mm}$ 糸はんだの表面に 2 mm 間隔で印がついている. 糸はんだに 2 mm 間隔で印がついているため, 3.2.1 節で示したはんだ供給量の規定を満たすはんだの長さ $2\sim 3\text{ mm}$ を定量的に確認しながらはんだ付けの練習を行うことができる. 2 mm 間隔の印は, はんだの表面をラジオペンチで薄くはさんで傷をつけた. 図 3.5 は, 作成したテキストの一部抜粋である. はじめに, ①はんだ付けの品質基準と錫めっき線の配置やリードの切断の際のポイントを示した静止画を提示し, 次に, ②はんだ付け作業の様子をデジタルマイクロスコープで撮影した動画により, こての当て方, はんだ供給の仕方, 供給量, 加熱時間を提示している. 本テキストは, 前章図 2.2 に示した実装形態ごとに上記①, ②を提示している. したがって, 本テキストの特徴は, 実装形態ごとの品質基準や錫めっき線の配置, リード線の切断のポイントが明確になっていること, また, 実装形態ごとのこての当て方, はんだ供給の仕方, 供給量, 加熱時間が明確になっていることである.

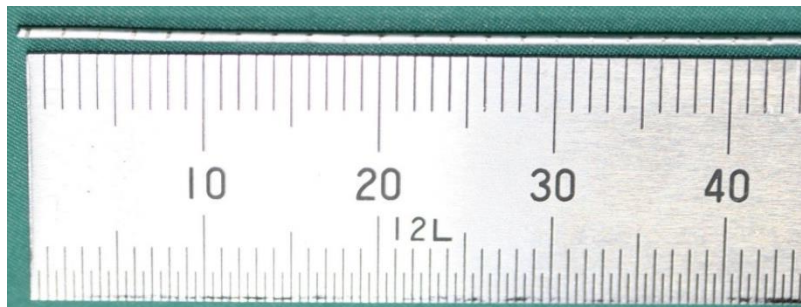
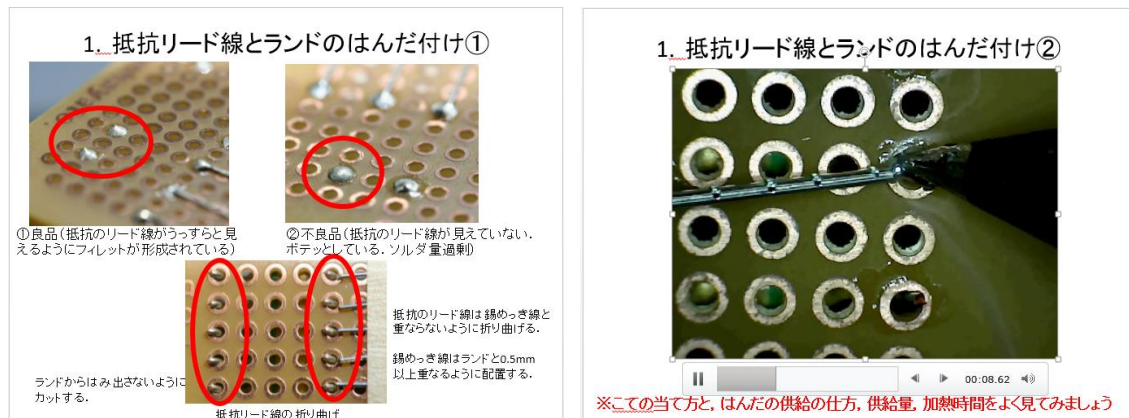


図 3.4 2 mm 間隔で印をつけた糸はんだ



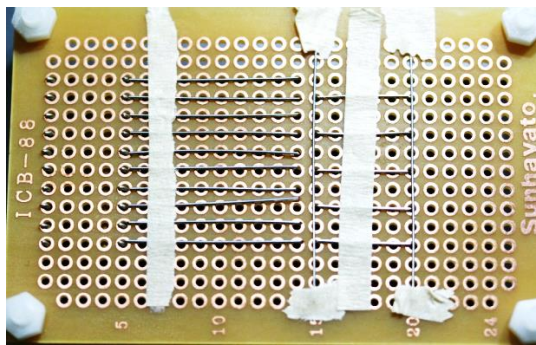
(左図: ①品質基準, 錫めっき線の配置, リードの切断のポイントを提示した静止画)
(右図: ②こての当て方, はんだ供給の仕方, 供給量, 加熱時間を提示した動画)

図 3.5 作業手順提示用テキスト (一部抜粋)

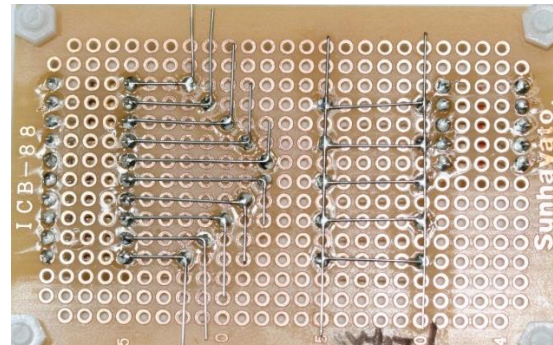
3.4 実習方法

実習方法を以下に示す。

- (i) 提案した作業手順提示用テキストを用いて、品質基準、錫めっき線の配置、リード線の切断のポイントを提示する。
- (ii) ユニバーサル基板に抵抗と錫めっき線を配置させ、図 3.6(a)に示した実習前の基板を完成させる。基板には、左端に、上から 10 個の抵抗がクリンチ実装されている。基板の 5 列目には、錫めっき線を上から 10 本配置しており、マスキングテープで固定されている。基板の 15 列目から 20 列目には、T 字のはんだ付けを行えるように錫めっき線を配置しており、マスキングテープで固定されている。
- (iii) (ii) で完成させた基板にはんだ付けをさせる。ここで、提案した提示用テキストの動画で、こての当て方、はんだ供給の仕方、加熱時間、はんだ供給量について提示する。このとき動画を実装形態ごとにそれぞれ 4 回再生する。1 回目は、こての当て方に注目させ、2 回目ははんだ供給の仕方、3 回目ははんだ供給量、4 回目は加熱時間に注目させる。はんだ供給量は、2 mm 間隔で印をつけたはんだを動画内で使用しているため確認しやすくなっている。また、加熱時間は動画の再生時間の表示により確認する。動画でポイントを確認した後、図 3.6(b)に示すように、基板の左端から、「抵抗リード線のみ」、「抵抗リード線と錫めっき線」、「L 字」、「T 字」の順にそれぞれ 10 回ずつはんだ付けを行う。ここで、はんだ付けには、図 3.4 で提案した 2 mm 間隔で印をつけたはんだを使用し、はんだ供給量を意識してはんだ付けを行うように指導する。



(a) 実習前のストラップ配線基板



(b) 実習後のストラップ配線基板

図 3.6 実習で使用するストラップ配線基板

第4章 研究授業の実施と訓練効果の評価方法

4.1 概要

本研究で提案する教材を用いた研究授業として、近畿能開大専門課程電子情報技術科1年生（以下、専門課程1年生という）、2年生、応用課程生産電子情報システム技術科1年生（以下、応用課程1年生という）の学生延べ60名を対象として、ストラップ配線のはんだ付け実習を行った。表4.1に研究授業対象者の在籍学科と人数を示す。訓練効果の評価は、①はんだ供給量、②品質基準理解度、③はんだ付け仕上がり品質、④習得度アンケート、により行った。本章では、訓練効果の評価方法と研究授業の実施方法について述べる。

表 4.1 研究授業対象者一覧

| 課程 | 科名 | 学年(年) | 人数(人) |
|------|---------------|-------|-------|
| 応用課程 | 生産電子情報システム技術科 | 1 | 13 |
| 専門課程 | 電子情報技術科 | 2 | 22 |
| 専門課程 | 電子情報技術科 | 1 | 25 |

4.2 訓練効果の評価方法

4.2.1 はんだ供給量の評価方法

第3章で、品質基準を満たすはんだ供給重量を定量的に示し、はんだ供給量を意識しながらはんだ付けの練習を行うことができる教材を提案した。品質基準を満たすはんだ供給重量の目安は3~5 mgであった。そこで、はんだの供給重量に着目して、はんだ供給量の評価を行うこととした。評価方法は、接続点箇所ごとに、供給したはんだの重量を測定し、群全体の使用量分布を評価する。はんだ重量の測定は、最小表示0.1 mgの電子はかりを用いて行う。測定方法は、接続点1箇所ごとに、(A) はんだ付けを行う直前のユニバーサル基板の重量を測定する。このときすでにユニバーサル基板には、抵抗や錫めつき線が配置されている。(B) ユニバーサル基板にはんだ付けを行い、(A)の重量を基準として、はんだ付け直後のユニバーサル基板の重量を測定する。(B)の測定結果を供給したはんだの重量とする。図4.1に測定の様子を示す。はんだ付け接続点箇所ごとに測定を行うため、1箇所ずつ(A)、(B)の順ではんだ付けと測定を繰り返し、全ての接続点に対して重量を測定する。測定結果より、群全体の使用量分布を求めて評価を行う。訓練効果は、(I)実習を経験した群と経験していない群との比較、(II)実習前後での比較により評価を行う。



(被験者によるはんだ付け)



(評価者による重量の測定)

図 4.1 はんだ供給重量測定の様子

4.2.2 はんだ付け品質基準理解度の評価方法

提案した教材のテキストは、ストラップ配線における実装形態ごとの品質基準を提示している。そこで、テキストの訓練効果を明らかにするために、品質基準理解度の評価を行った。品質基準理解度の評価は、品質基準に関する確認試験の正答率により行う。図 4.2 に、作成した確認試験問題を示す。試験問題には、はんだ付け仕上がり例が 23 項目掲載されている。良品・不良品の判定結果の正答率を評価に用いる。訓練効果は、(I) 実習を経験した群と経験していない群との比較、(II) 実習前後での比較により評価を行う。

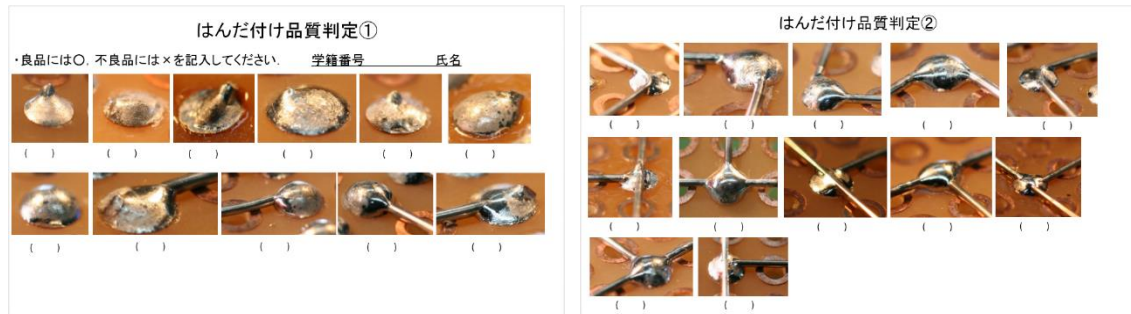
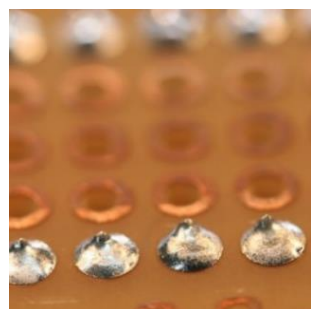


図 4.2 品質基準理解度の確認試験問題

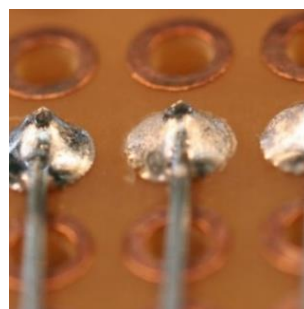
4.2.3 はんだ付け仕上がり品質の評価方法

提案した教材を用いた実習の総合評価として、はんだ付け仕上がり品質の評価を行った。はんだ付け仕上がり品質の評価は、図 4.3 に示す実装形態に対して行った。評価方法は、目視による外観観察とした。評価基準は、日本溶接協会が定める品質判定基準と技能検定 1 級（電子機器組立て作業）の仕様に準じた。仕上がり品質の評価は、良品、不良品を点数化することで行う。図 4.4 にはんだ付け品質の点数化の例を示す。右側の 5 箇所接続点は実習前、左側の 5 箇所接続点は実習後の仕上がりである。実線で囲まれている接続点は、錫めっき線の線筋がわかり、フィレットが形成されているため良品、点線で囲まれている接続点はソルダ量過剰により不良品と判定された。ここで、はんだ付け箇所ごとに良品を 1 点、不良品を 0 点と

して合計点を求め、合計点をはんだ付け箇所数で割って規格化することで点数化を行った。図の右側は5箇所の接続点うち5箇所とも不良品と判定されたため0点、左側は5箇所の接続点のうち4箇所が良品と判定されたため4点と評価され規格化すると0.8と点数化される。本論文ではこの点数を規格化スコアと表記する。訓練効果は、提案した教材を用いた実習前後での規格化スコアを比較することにより評価する。



(a) 抵抗のリード線



(b) 抵抗のリード線と錫めつき線

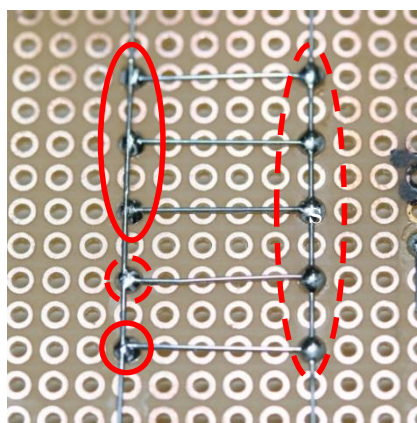


(c) L字



(d) T字

図 4.3 はんだ付けの実装形態



実線：良品（4点） 点線：不良品
左側：実習後 右側：実習前

図 4.4 点数化の例

4.2.4 習得度アンケートによる評価

提案した教材を用いた実習の自己評価として、ストラップ配線のはんだ付け作業に関する技能習得度についてアンケート調査を実施した。図 4.5 にアンケートの内容を示す。評価のレベルは 5 段階評価とした。アンケート項目 1 の作業対象別難易度は、実装形態ごとの難易度についての意識の変化を評価する。アンケート項目 2 の技能習得度は、適切なはんだ供給量、こての当て方、錫めつき線の配置、良品・不良品の判断についての習得度を評価する。また、苦手意識や技能上達を実感できたかどうかについても評価を行う。訓練効果は、評価値を実習前後で比較して評価する。

| はんだ付け作業アンケート | | | | |
|---------------------|------|----------------|---------------|--------|
| 学籍番号 | | | | |
| 授業前:○ 授業後:◎ | | | | |
| 1. 作業対象別難易度 | 易しい | やや易しい | やや難しい | 難しい |
| 抵抗のリード線のみ | | | | |
| 抵抗-錫めつき線 | | | | |
| L字 | | | | |
| T字 | | | | |
| 2. 技能習得度 | できる | ややできる | ややできない | できない |
| 適切なはんだ量 | | | | |
| こての当て方 | | | | |
| 錫めつき線の配置 | | | | |
| 良品・不良品の判断 | | | | |
| 錫めつき配線 はんだ付け苦手意識 | ない | どちらかといえ ばない | ややある | ある |
| はんだ付け作業が上手 になった | そう思う | ややそう思う | あまりそう 思わない | そう思わない |

図 4.5 習得度アンケート

4.3 研究授業の実施

4.3.1 専門課程 2 年生に対する研究授業

2016 年 8 月 30 日に専門課程 2 年生を対象に、提案した教材を用いて研究授業を実施した。専門課程 2 年生は、1 年次にユニバーサル基板へのストラップ配線を経験しているが、第 2 章で述べたとおり、ストラップ配線技能の習得度が低いことが分かっている。実習に先立ち、習得度アンケート、品質基準理解度の確認試験を行った。回答結果を回収し、実習前のサンプルを得た。その後、3.4 節の実習方法で実習を行った。実習時間にはおよそ 200 分を要した。実習後の訓練効果を評価するため、再び、習得度アンケートと品質基準理解度の確認試験を実施した。回答結果を回収し、実習後のサンプルを得た。さらに、供給したはんだ重量の測定と、はんだ付け仕上がりの品質評価を行うが、はんだ重量の測定は、1 人ずつ接続点 1 箇所ごとに行うため時間かかる。そのため、被験者には、後日放課後や空き時間を利用して、実習後の評価用基板へはんだ付けを行ってもらった。このとき、はんだ重

量の測定と仕上がりの品質評価を行った。実習後の評価用基板を図 4.6 に示す。抵抗リード線の接続 10 箇所，抵抗リード線と錫めっき線の接続 10 箇所，L 字の接続 10 箇所，T 字の接続 10 箇所について，接続点 1 箇所ごとに重量の測定と品質評価を行い，実習後のサンプルを得た。22 名全員分の結果を得るのに 2 週間を要した。実習前後の訓練効果を評価するために必要な実習前のサンプルは，2.1 節で示した現状の評価結果を用いることとした。

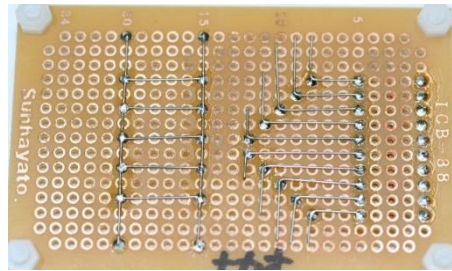


図 4.6 評価用基板の構成

4.3.2 応用課程 1 年生に対する研究授業

応用課程 1 年生 13 名を対象に，実習前のはんだ重量の測定と品質評価および研究授業を実施した。実習前のはんだ重量の測定と品質評価は 2016 年 9 月 27 日，28 日に実施した。また，研究授業は 2016 年 11 月 22 日に実施した。応用課程 1 年生の特徴は，専門課程の 2 年間と応用課程において，十分にはんだ付けの経験を積んでいることである。応用課程 1 年次の前期中には技能検定電子機器組立て 2 級を受検するための実習を履修しており，8 名が同検定 2 級に，1 名が 3 級に合格している。実習前の評価用基板を図 4.7 に示す。実習前の評価用基板の錫めっき線等の配置は，あらかじめ用意しておいて，被験者は，はんだ付けのみを行った。抵抗リード線の接続 5 箇所，抵抗リード線と錫めっき線の接続 5 箇所，L 字の接続 5 箇所，T 字の接続 5 箇所について，接続点 1 箇所ごとに重量の測定と品質評価を行い，実習前のサンプルを得た。研究授業では，まず実習に先立ち，習得度アンケートと品質基準理解度の確認試験を行った。回答結果を回収し，実習前のサンプルを得た。次に，前項同様に 3.4 節の実習方法で実習を行った。実習後の訓練効果を評価するため，再び習得度アンケートと品質基準理解度の確認試験を実施した。回答結果を回収し実習後のサンプルを得た。実習後の評価用基板を図 4.8 に示す。図 4.7 に示

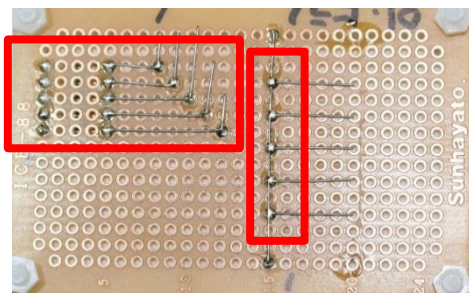


図 4.7 実習前の評価基板

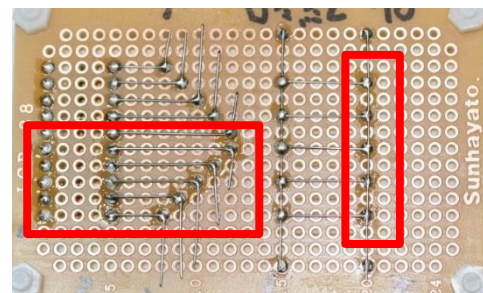


図 4.8 実習後の評価用基板

した実習前の評価用基板の空きスペースに実習前と同様の接続を行う。図 4.8 の赤枠内が実習後の評価用のはんだ付けである。抵抗リード線の接続 5 箇所，抵抗リード線と錫めっき線の接続 5 箇所，L 字の接続 5 箇所，T 字の接続 5 箇所について，接続点 1 箇所ごとに重量の測定と品質評価を行い，実習後のサンプルを得た。

4.3.3 専門課程 1 年生に対する研究授業

本研究授業では，提案した教材を，ストラップ配線の初心者に対して適用することとした。ここでは，専門課程 1 年生 25 名を対象として，2016 年 11 月 24 日と 2016 年 11 月 28 日に研究授業を実施した。近畿能開大のカリキュラムの都合上，2 回に分けてクラスの半数ずつ実施した。専門課程 1 年生の特徴は，錫めっき線を用いたストラップ配線のはんだ付け経験がまったくないところである。ただし，1 年次の前期中に技能検定電子機器組立て 3 級を受検するための実習を履修しており，プリント基板へのはんだ付け経験を十分積んでいる。はんだ付け品質は，抵抗リード線の接続 5 箇所，抵抗リード線と錫めっき線の接続 5 箇所，L 字の接続 5 箇所，T 字の接続 5 箇所のはんだ付け接続点を実習前後で評価した。また，品質基準理解度の確認試験を実習前後で実施した。本研究授業における訓練効果の評価は，実習前後のはんだ付け品質と品質基準理解度で行った。

第5章 結果と考察

5.1 はんだ供給量の評価結果

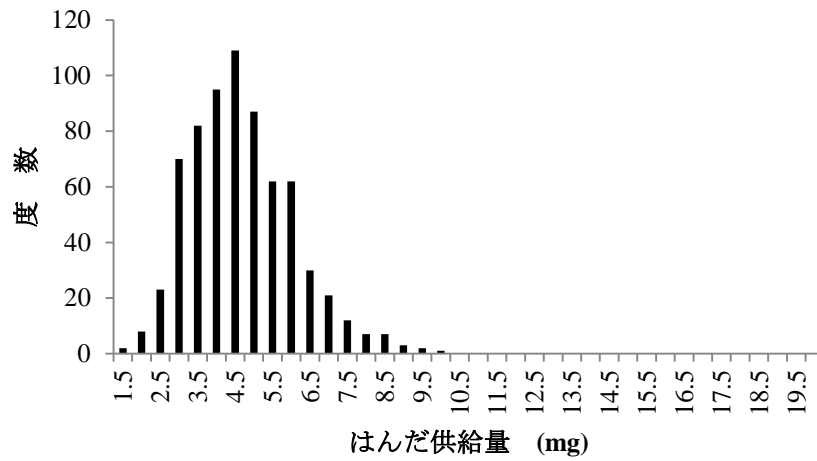
表 5.1, 図 5.1 にはんだ供給量の分布を示す. 図 5.1(a)は, 専門課程 2 年生の実習後の結果を示している. 図 5.1(b), (c)は, 応用課程 1 年生の実習前後の結果を示している. 結果は, すべての接続点箇所ごとに供給したはんだ重量の分布を示しており, 良品と不良品の両方が含まれている. はんだ供給量の分布が, 規定を満たす重量の範囲とした 3~5 mg に近づいているかどうかを評価した. 訓練効果の評価は, (I) 図 5.1(a)を実習経験がある群, 図 5.1(b)を実習経験がない群として比較, (II) 図 5.1(b)と図 5.1(c)を同一被験者群の実習前後の結果として比較を行った.

実習を経験した専門課程 2 年生は, おおむね, 規定を満たす重量の目安とした 3~5 mg の範囲ではんだ付けができており, はんだ供給量を意識したはんだ付けができるようになったことが表れている. 一方, 実習を経験していない応用課程 1 年生は, はんだ供給量が多く, 目安とした値の 4 倍近い供給量も見られる. はんだ供給量がほとんど意識できておらず, 規格化スコアの平均値も 0.10 と非常に低い. 専門課程 2 年生と応用課程 1 年生とでは, 授業での実習時間や技能検定合格者の有無など, はんだ付けの経験に大きな差があるにもかかわらず, 提案した教材を用いた実習を経験した専門課程 2 年生の方が優れたはんだ付けを行えている.

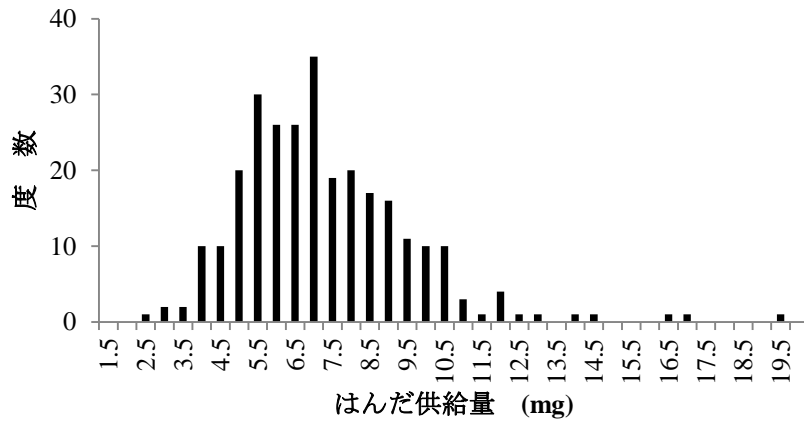
次に同一被験者群の実習前後の比較を行った. 実習後の供給量は, おおむね規定を満たす重量の範囲ではんだ付けができており, 供給量を意識したはんだ付けができるようになっている. 規格化スコアの平均値も 0.53 まで向上している.

表 5.1 はんだ供給量の分布

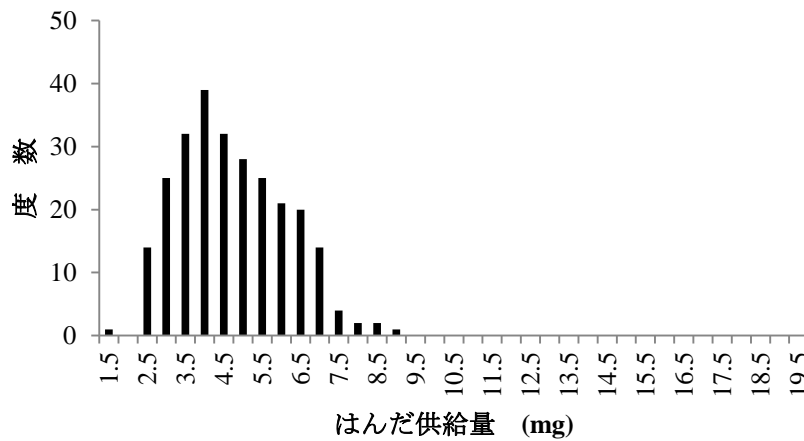
| | 専門 2 年 実習後 | 応用 1 年 実習前 | 応用 1 年 実習後 |
|------------------|---------------|---------------|---------------|
| 供給重量(平均) (mg) | 4.4±1.22 | 7.1±1.37 | 4.4±0.10 |
| 規格化スコア(平均) | 0.51 | 0.10 | 0.53 |



(a) 専門課程 2 年生実習後のはんだ供給量分布



(b) 応用課程 1 年生実習前のはんだ供給量分布



(c) 応用課程 1 年生実習後のはんだ供給量分布

図 5.1 はんだ供給量の分布

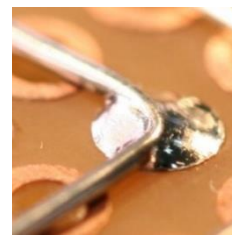
5.2 はんだ付け品質基準理解度の評価結果

表 5.2 にはんだ付け品質基準理解度の評価結果を示す。実習を経験した専門課程 2 年生の方が実習を経験していない応用課程 1 年生より、品質基準の理解度が高いことが表れている。また、試験問題ごとに正答率を求めて比較を行った。図 5.2 は、試験問題と結果の一例を示している。実習の経験がある群とない群で、正答率の差が大きかった問題の例である。図 5.2 (a) は不良品、(b) は良品である。実習を経験した専門課程 2 年生は、正答率が高く品質基準をおおむね理解できていることがわかる。一方、実習の経験がない応用課程 1 年生の正答率は専門課程 2 年生に比べて低く、ストラップ配線におけるはんだ付けの品質基準を理解できていないことが表れている。次に、応用課程 1 年生と専門課程 1 年生の研究授業で得たサンプルから同一被験者群の実習前後の比較を行った。各被験者群とも実習前後で正答率が向上しており、応用課程 1 年生の実習前後の平均値を有意水準 1% で両側検定による t 検定を行った結果、有意差が認められた ($t(12) = 7.15, p < .001$)。また、同様に専門課程 1 年生についても有意水準 1% で両側検定による t 検定を行った結果、有意差が認められた ($t(24) = 5.60, p < .001$)。

表 5.2 はんだ付け品質基準理解度の評価結果

| 被験者 | 正答率 (%) | | | | t 値 |
|-----------|---------|-------|------|------|----------|
| | 実習前 | | 実習後 | | |
| | M | SD | M | SD | |
| 専門課程 2 年生 | — | — | 79.5 | 8.02 | — |
| 応用課程 1 年生 | 54.8 | 15.68 | 81.9 | 6.11 | 7.15 *** |
| 専門課程 1 年生 | 64.2 | 13.32 | 80.3 | 7.49 | 5.60 *** |

M: 平均値 SD: 標準偏差 *** $p < .001$



- (a) 正答率: 95.5% (専門課程2年生) 50.0% (応用課程1年生)
- (b) 正答率: 100% (専門課程2年生) 35.7% (応用課程1年生)

図 5.2 正答率の差が大きかった試験問題の例

5.3 はんだ付け品質の評価結果

表 5.3, 図 5.3 に実習前後における仕上がり品質の変化を示す。4.2 節, 図 4.3(a)～(d)に示した実装形態ごとに品質の変化を評価した。規格化スコアとは, 個人のサンプルごとに良否判定を行い, 合計点をはんだ付け箇所数で割った値である。また, 規格化スコアの平均値は, 被験者群の平均値であり, 満点で 1 となる。提案した教材を用いた実習前後で, はんだ付け品質が向上しており, 各被験者群の実習前後の平均値を有意水準 1% で両側検定の t 検定を行った結果, 有意差が認められた。また, 実習前の規格化スコアは, どの被験者群においても低い。特に L 字や T 字のスコアが低く難易度の高さが表れている。

図 5.4 は実習前後において同一被験者が行ったはんだ付け品質の変化の例を示している。図左のはんだ付けは実習前に行ったもので, 右が実習後に行ったものである。実習前のはんだ付けは, ソルダ量過剰やつららが生じており, 不良品と判定された。実習後は, 抵抗リード線や錫めっき線の線筋が確認でき, むれ性も良好であるため良品と判定された。また, 実習前後の規格化スコアは, 図 5.4(a)～(d)においてそれぞれ, 0 から 0.8, 0.4 から 0.8, 0 から 1, 0 から 1 へ向上した。このように, この被験者は, 提案した教材を用いた実習を経験することで, 品質の良いはんだ付け作業をすることができるようになっている。

表 5.3 提案した教材を用いた実習前後でのはんだ付け品質の変化

| 対象者 | 規格化スコア | | | | | | | | | |
|--------------|---------|------|------|------|----------|-------------------|------|------|------|-----------|
| | ①抵抗リード線 | | | | | ②抵抗リード線- 錫めっき線 | | | | |
| | 実習前 | | 実習後 | | t 値 | 実習前 | | 実習後 | | t 値 |
| | M | SD | M | SD | | M | SD | M | SD | |
| 専門課程 2 年生 | 0.13 | 0.15 | 0.46 | 0.20 | 8.23 *** | 0.05 | 0.07 | 0.49 | 0.25 | 8.27 *** |
| 応用課程 1 年生 | 0.19 | 0.18 | 0.46 | 0.25 | 3.62 ** | 0.16 | 0.19 | 0.75 | 0.19 | 11.85 *** |
| 専門課程 1 年生 | 0.06 | 0.12 | 0.62 | 0.33 | 8.32 *** | 0.07 | 0.14 | 0.61 | 0.26 | 9.53 *** |

| 対象者 | 規格化スコア | | | | | | | | | |
|--------------|--------|------|------|------|----------|------|------|------|------|----------|
| | ③L 字 | | | | | ④T 字 | | | | |
| | 実習前 | | 実習後 | | t 値 | 実習前 | | 実習後 | | t 値 |
| | M | SD | M | SD | | M | SD | M | SD | |
| 専門課程 2 年生 | 0.05 | 0.16 | 0.56 | 0.24 | 9.52 *** | 0.02 | 0.08 | 0.55 | 0.29 | 8.14 *** |
| 応用課程 1 年生 | 0.06 | 0.09 | 0.45 | 0.19 | 5.25 *** | 0.00 | 0.00 | 0.48 | 0.30 | 5.52 *** |
| 専門課程 1 年生 | 0.02 | 0.05 | 0.51 | 0.31 | 7.70 *** | 0.01 | 0.04 | 0.34 | 0.30 | 5.53 *** |

M: 平均値 SD: 標準偏差

** $p < .01$, *** $p < .001$

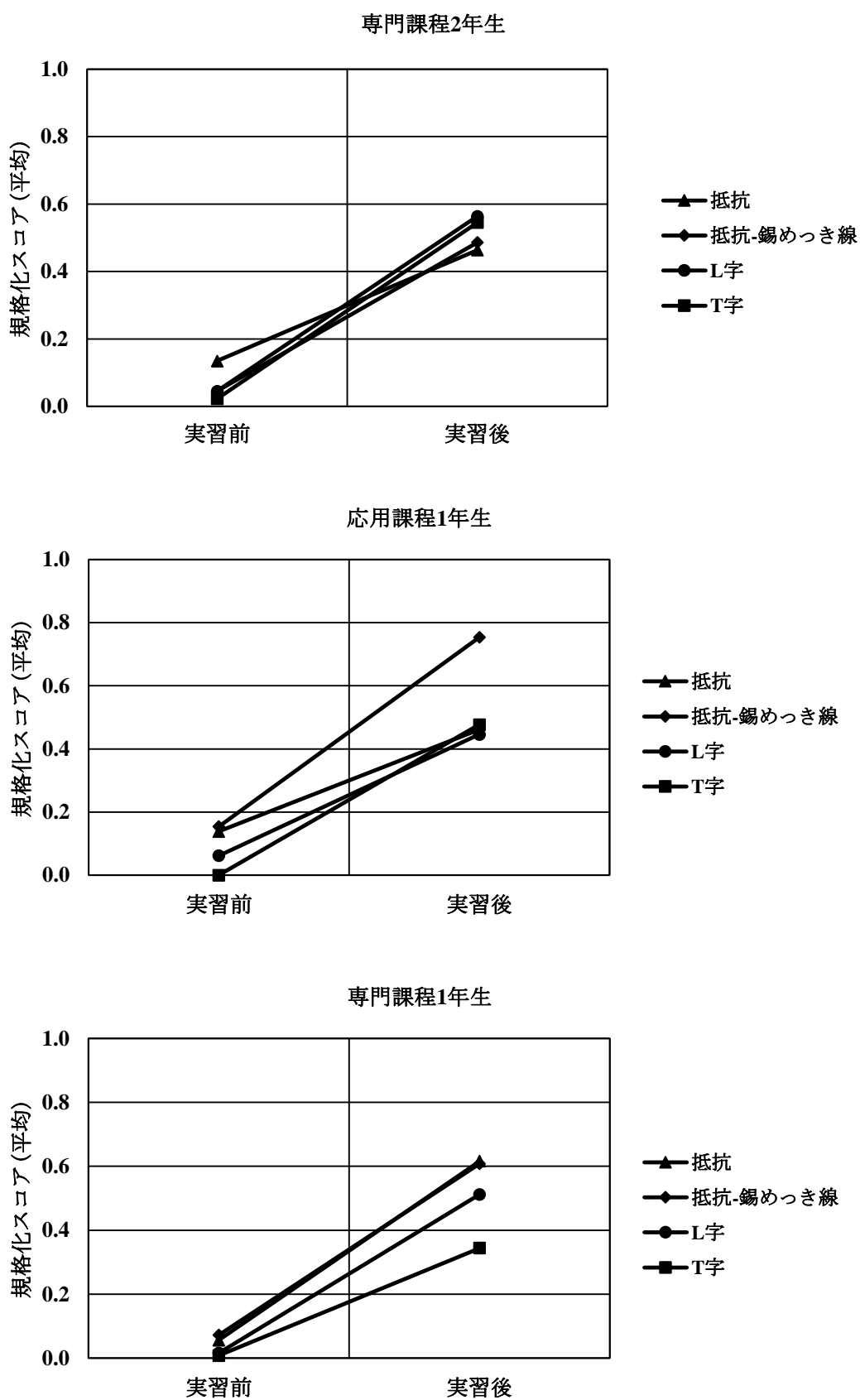


図 5.3 提案した教材を用いた実習前後でのはんだ付け品質

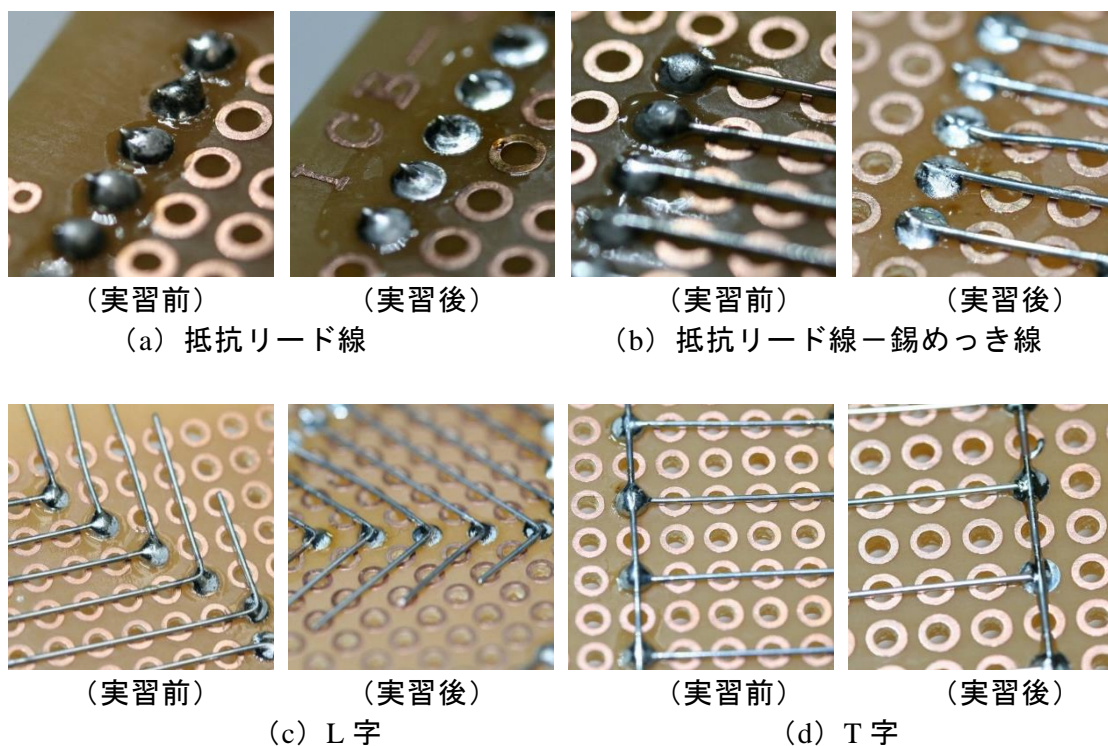


図 5.4 実習前後のはんだ付け品質の比較

5.4 習得度アンケート結果

図 5.5, 表 5.4 に習得度アンケートの結果を示す. 評価値の平均は, 5 段階評価の結果を表しており, 被験者群ごとの平均を示している. 図 5.5(a)のアンケート項目 1 では, 実装形態ごとの難易度についての意識の変化を評価した. 評価値が低い方が「作業が難しい」, 高い方が「作業が易しい」という意識をもっていると評価する. 図 5.5(b)のアンケート項目 2 では, 適切なはんだ供給量, こての当て方, 錫めっき線の配置, 良品・不良品の判断についての習得度を評価した. 評価値が高いほど習得度が高いと評価する. 訓練効果の評価は, 実習前後で評価値を比較することより行った. 各アンケート項目とも評価値は向上しており, 実習前後における評価値を有意水準 5%で両側検定の t 検定を行った結果, 有意差が認められた.

まず, アンケート項目 1 の結果より, 各実装形態とも, 実習を経験したことで作業の難易度に対する意識が変化したことが表れている. また, 「L 字」と「T 字」の実装形態においては, 評価値の向上は見られるものの, 実習前後とも評価値は低い. これは, 同実装形態のはんだ付けは, 錫めっき線の配置や固定, 加熱方法など習得すべき内容が多いためだと考えられる. 次に, アンケート項目 2 の結果からは, 各項目とも, 技能習得度が向上していることがわかる. 提案した教材において着目した, はんだ供給量, 加熱方法, 錫めっき線の配置などの品質基準に対する習得度が向上したことが表れている

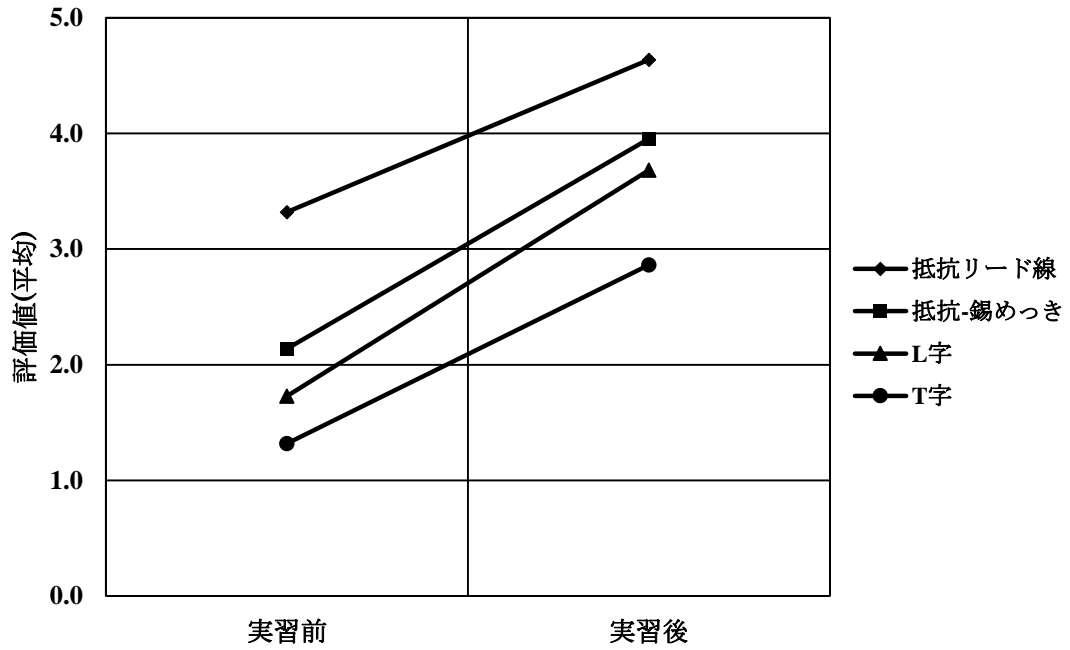
表 5.4 習得度アンケート結果

| 項目 | | 評価値 | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------------------|-----------|------|------|------|-----------|-----------|------|------|------|----------|
| | | 専門課程 2 年生 | | | | | 応用課程 1 年生 | | | | |
| | | 実習前 | | 実習後 | | t 値 | 実習前 | | 実習後 | | t 値 |
| | | M | SD | M | SD | | M | SD | M | SD | |
| 1.難易度 に対する 意識変化 | 抵抗リード 線のみ | 3.32 | 1.18 | 4.64 | 0.48 | 5.11 *** | 4.31 | 0.72 | 4.77 | 0.42 | 2.52 * |
| | 抵抗-錫め つき線 | 2.14 | 1.22 | 3.95 | 0.82 | 10.00 *** | 3.46 | 1.15 | 4.15 | 1.03 | 3.32 ** |
| | L 字 | 1.73 | 0.96 | 3.68 | 1.14 | 9.18 *** | 1.92 | 0.92 | 3.31 | 1.07 | 5.74 *** |
| | T 字 | 1.32 | 0.76 | 2.86 | 1.22 | 5.16 *** | 1.38 | 0.74 | 2.54 | 1.08 | 3.89 ** |
| 2.技能 習得度 | 適切なは んだ量 | 1.95 | 1.15 | 4.18 | 0.72 | 12.86 *** | 2.08 | 1.00 | 4.08 | 0.47 | 7.90 *** |
| | こての当て 方 | 2.09 | 1.24 | 4.05 | 0.93 | 8.41 *** | 2.31 | 0.99 | 3.77 | 0.89 | 6.01 *** |
| | 錫めつき 線の配置 | 1.86 | 1.18 | 3.64 | 1.07 | 7.22 *** | 3.00 | 1.04 | 3.77 | 1.19 | 3.33 ** |
| | 品質判断 | 2.14 | 1.22 | 4.23 | 0.67 | 10.10 *** | 2.31 | 0.91 | 4.08 | 0.83 | 6.88 *** |
| | 苦手意識 | 2.00 | 1.17 | 3.50 | 1.20 | 5.41 *** | 2.23 | 1.42 | 3.31 | 1.20 | 4.07 ** |
| | はんだ付 けが上手 になったか (上達意 識) | 1.86 | 0.92 | 4.36 | 0.64 | 12.85 *** | 2.69 | 1.32 | 4.46 | 0.84 | 5.84 *** |

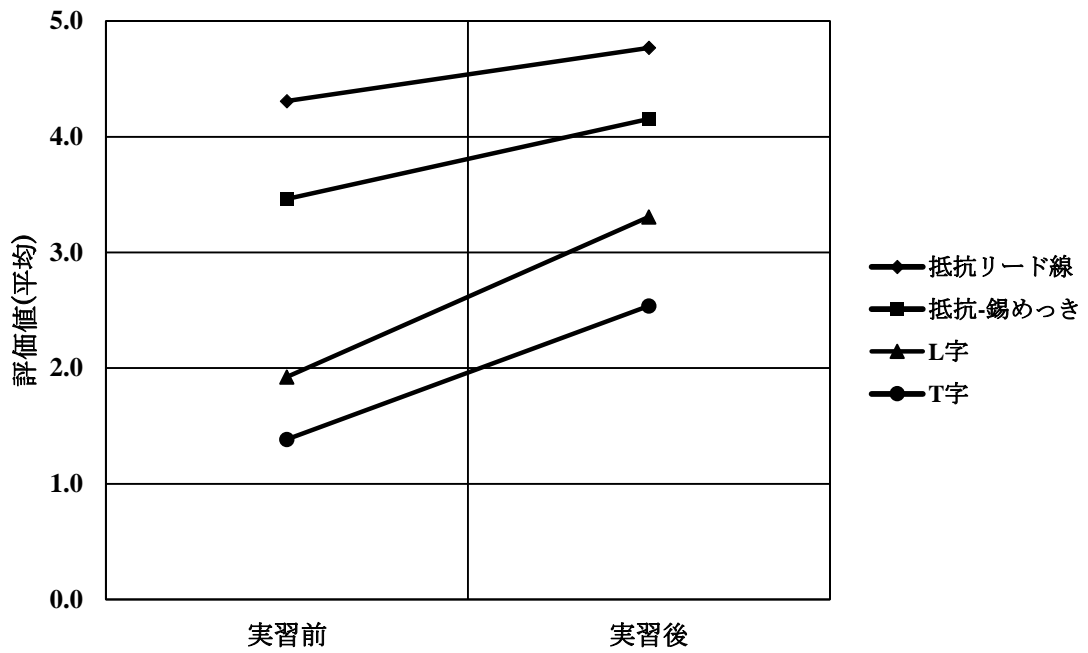
M: 平均値 SD: 標準偏差

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

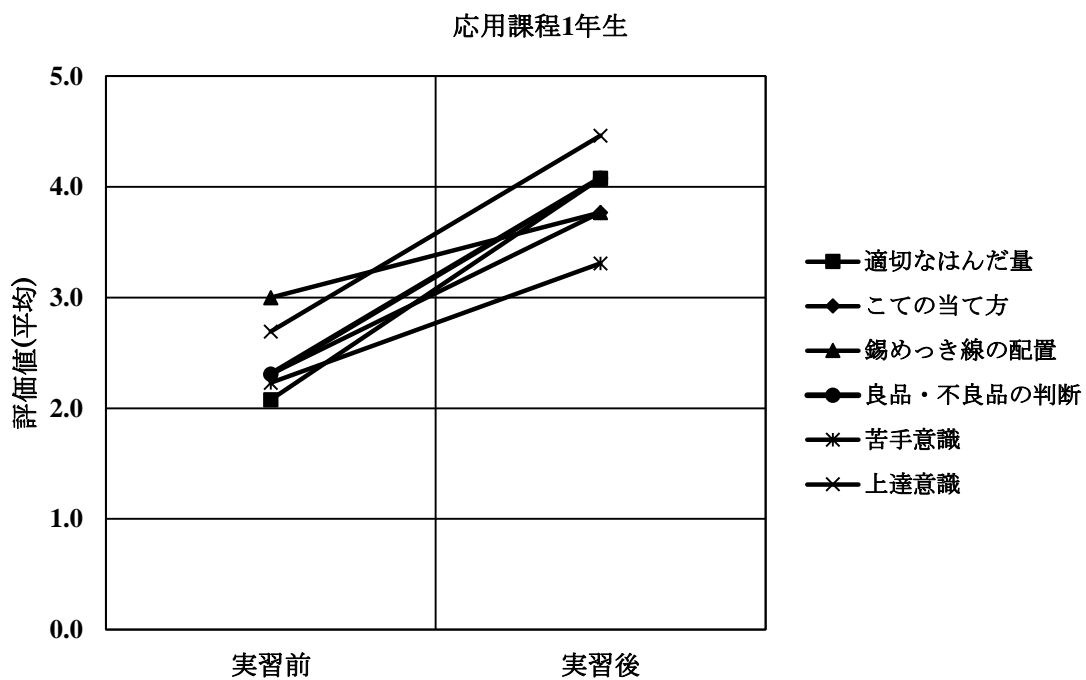
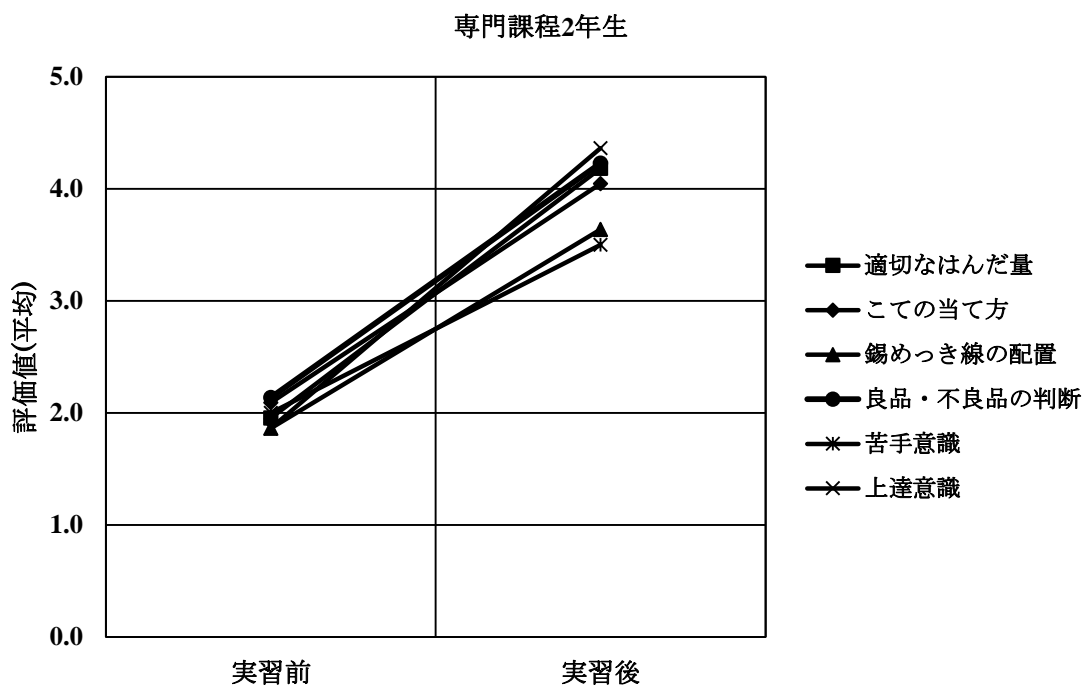
専門課程2年生



応用課程1年生



(a) アンケート項目 1 : 作業別難易度



(b) アンケート項目 2 : 技能習得度

図 5.5 習得度アンケートの結果

第6章 結論

6.1 研究成果

本研究では、ストラップ配線において、多くの学生にはんだ付け不良が生じている問題を解決するために、新たな教材を提案した。また、研究授業の実施により、提案した教材の訓練効果を評価することができた。本研究で得られた成果は以下のとおりである。

- (1) 学生の現状のはんだ付け技能についての評価・分析を行い、生じているはんだ付け不良内容を明らかにしたことにより、教材開発の目標を明確にすることができた。
- (2) はんだ供給量を定量的に示すための実験を行った。実験結果より、品質基準の規定を満たすはんだ供給量をはんだの重量と長さで定量的に示した。
- (3) ストラップ配線におけるはんだ付け作業に関して、学生 21 名分の作業状態を撮影した動画を観察した結果、こての当て方、加熱位置、加熱時間などに関して不適切な状態で作業を行っていることが明らかとなった。本結果により作業手順と作業方法の提示方法を検討することができた。
- (4) ストラップ配線におけるはんだ付け作業を効果的に教育するための新たな教材として、はんだ供給量の目安がわかるφ0.6 mm 糸はんだと、作業手順と作業方法を動画で提示したテキストを提案した。また、本教材を用いた実習方法についても提案した。
- (5) 延べ 60 名の学生を対象に研究授業を実施し、得られたサンプルにより①はんだ供給量、②品質基準理解度、③はんだ付け仕上がり品質、④習得度の評価を行った。提案した教材を用いた実習前後で①～④の評価結果を比較した結果、①については、実習後の仕上がり品質が向上していることがわかった。②については、実習後はおおむね規定を満たす範囲の供給量ではんだ付けができるようになっていたことがわかった。③については、実習後に正答率が向上しており品質基準理解度が向上していることがわかった。④については、作業難易度に対する意識の変化と技能習得度の変化について示した。実習前後において、各項目とも評価値が向上していることがわかった。以上により、提案した教材の訓練効果を確認することができた。

6.2 今後の課題

本研究で提案した教材は、ユニバーサル基板へのストラップ配線におけるはんだ付け作業を効果的に行うために、はんだ供給量と作業手順の提示方法に着目して開発を進めてきた。本教材をプリント基板へのはんだ付け作業に応用することで、はんだ付け初心者への導入実習に使用できると考えられる。特に、はんだ供給量については、はんだ供給量が定量的に示されるため、高い訓練効果が期待できる。

ユニバーサル基板へのストラップ配線において、品質の良いはんだ付けを行うためには、はんだ供給量や加熱方法以外に錫めっき線の配置や固定にもノウハウが多く存在している。本研究では、まずストラップ配線におけるはんだ供給量や加熱方

法を習得させるために、錫めっき線の固定は、マスキングテープを用いて行った。仕上がり品質だけでなく作業時間も含めた技能を習得するためには、錫めっき線の固定について着目した教材や指導方法も重要であり、今後の課題とする。

また、本教材を用いた実習を経験することで、多くの被験者においてはんだ付け仕上がり品質が向上した。一方で、同実習を経験してもはんだ付け品質の向上がほとんど見られない被験者も存在していた。今後、はんだ付け技能の向上がほとんど見られなかった被験者の作業状態などを分析し、反復練習なども含めて、技能習得までの過程を明らかにすることで、より多くの技能未習得者に対して訓練効果が得られる教材の開発や指導方法の提案につなげていくこととする。

参考文献

- [1] 春口良博：技能検定「電子機器組立て」課題の取り組みと教育訓練効果に関する研究，職業能力開発総合大学校，高度養成課程研究論文（2016）。
- [2] 庄林雅了，中澤直樹，遠藤裕之，渡辺克彦：ものづくり競技を通じた職業訓練について，技能と技術，vol. 50，pp. 1-8，職業能力開発総合大学校基盤整備センター（2015）。
- [3] 日本溶接協会：マイクロソルダリング技術認定・検定試験における品質判断基準，日本溶接協会（2006）。

謝辞

本研究の遂行にあたり研究の構想段階から数多くの助言とご指導を賜りました職業能力開発総合大学校の花山英治教授に厚く御礼申し上げます。また、職業能力開発総合大学校の小野寺理文教授、田村仁志准教授、高橋毅准教授には、研究に対する貴重なご助言をいただきました。深く感謝申し上げます。

近畿職業能力開発大学校生産電子情報システム技術科の石部剛史先生には、研究テーマの相談に乗っていただき、さらに実験方法についてご指導をいただきました。また、望月隆生先生には、研究の進め方についてご助言をいただき、さらに研究授業の場を提供していただきました。深く感謝申し上げます。

近畿職業能力開発大学校電子情報系の専門課程1年生、2年生、応用課程1年生の皆様には、大変熱心に研究授業を受講していただきました。本論文のデータは皆様の協力なしには得られませんでした。ここに深く感謝いたします。