

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：17301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560094

研究課題名(和文)学校教育におけるハンダ付け実習の鉛フリー化に関する研究

研究課題名(英文)Development of Learning Materials on Lead-Free Soldering in Education

研究代表者

武藤 浩二 (MUTO, Cosy)

長崎大学・教育学部・教授

研究者番号：30311096

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、学校教育におけるハンダ付け実習授業に適用するための教具・教材ならびに授業・指導方法について明らかにするものである。

本研究の成果概要は次のとおりである：

ハンダ付け練習のためのプリント基板を開発し、ハンダ付けの結果を評価する手法を確立した。ニクロムヒーター式のハンダごてであってもハンダ付け作業を鉛フリー化することは可能であり、中学校でも従来の鉛ハンダと同程度のハンダ付け結果が得られる。中学校用のエネルギー変換教材及び授業を開発し、授業実践により10時間で実施できることを示した。教員免許状更新講習を試し、教育現場への還元・普及を図るための資料を得た。

研究成果の概要(英文)：Environmental regulations such as RoHS are essential considerations in industry, however, it is almost not considered in technology education in secondary schools although the Courses of Study refers the relationship between the technology and both society and the environment.

In this study, we develop materials for lead-free soldering in secondary schools: a printed circuit board for soldering practice and an LED light for design exercise.

Trial results show that (1) Lead free soldering can be carried out in secondary schools without using expensive temperature controllable soldering irons. (2) 10 hours class of an LED light design can be carried out successfully in technology education.

研究分野：電子回路理論

キーワード：鉛フリーハンダ 環境配慮 化管法 PRTR RoHS エネルギー変換 教材開発

1. 研究開始当初の背景

(1) 環境問題に対する意識の高まりから、ヨーロッパにおいては、2003年にEC指令としていわゆるRoHS指令が施行され、鉛、水銀、カドミウムといった有害物質を含有する製品はEU域内には流通できないこととなった。これを受けて、産業界では電子機器の製造に用いるハンダを鉛を一切含まない鉛フリーハンダに全面的に移行している。

(2) 我が国の学校教育の現場においては、中学校技術・家庭(技術分野)、工業高等学校・高等専門学校及び大学工学部の電気系学科における実験実習等でハンダ付けが行われている。これまでの準備的研究として、研究代表者らは最も産業界に近い高専・大学においてさえ、ハンダ付けの鉛フリー化はごく少数の例外校を除いて行われていないことを明らかにするとともに、専用のごてを用いずとも従来型のニクロムヒーター型ごてで鉛フリーハンダを取扱うことができることを明らかにしてきた。

2. 研究の目的

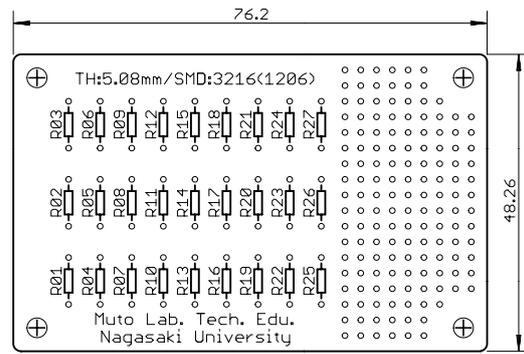
本研究は、産業界が電子機器の製造に用いている鉛フリーハンダを、中学校技術・家庭(技術分野)、工業高等学校、工業高等専門学校及び大学工学部におけるハンダ付け実習授業に適用するための教具・教材ならびに授業・指導方法について明らかにするものである。主要な目標は次の2点である。

- (1) 中学校、工業高校、高等教育機関が今現在保有する作業環境下で、ハンダ付け作業を鉛フリー化するための教具及び実習教材を開発すること
- (2) 鉛フリーハンダによるハンダ付け作業の実習手順及び指導方法を明らかにすること

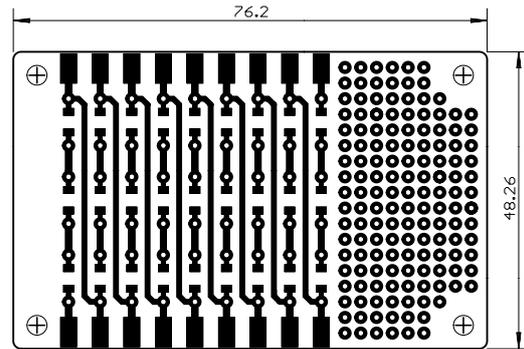
3. 研究の方法

- (1) 学校でのハンダ付け実習で使用するための練習用プリント基板を開発する。
- (2) 上記(1)で開発した基板を用い、複数の中学校においてハンダ付け実習を行い、実習後の基板を解析して鉛フリーハンダ付けの適用可能性を検討する。この際、比較対照のため、ある中学校では鉛フリーハンダを、異なる中学校では鉛ハンダを用い、その結果を比較する。
- (3) 鉛フリーハンダ付けにより製作可能なエネルギー変換教材を開発し、中学校における授業展開を検討するとともに試行する。
- (4) 鉛フリーハンダ付けを内容に含む教員免許状更新講習を立ち上げ、現職教員に対する指導を試行する。

4. 研究成果



(a) 部品面



(b) ハンダ面

図1 開発した鉛フリーハンダ付け練習基板

(1) 練習用プリント基板の開発

練習用プリント基板は、研究代表者らが提案した簡易評価法を適用するものとし、0Ωジャンパ抵抗を複数本直列に接続する配線パターンとした。ジャンパ抵抗はスルーホール用のものだけでなく、3216(1206)サイズの表面実装部品にも対応することとし、3本単位で直列接続して測定できるように部品配置と配線パターンを設計した。基板の長辺には測定用端子をハンダ付け接続するためのランドを設けている。また1/10インチピッチのユニバーサル部も設け、ハンダ付けの最も初期の練習やごく簡単な回路の実装ができるようにもした。

図1に製造したハンダ付け練習基板を示す。基板は材質FR-4(ガラスエポキシ)の片面とし、パターンに対するハンダメッキやパターン面へのレジスト印刷は行わず、フラックス塗布のみとした。また部品面にはシルク印刷により抵抗挿入箇所を示している。プリント基板の設計にはEAGLE(Freeware版)を用い、GERBER形式の設計データをプリント基板製造業者に供給して製造した。単価は500枚量産時で130円弱である。

(2) 中学校における鉛フリーハンダ付けの実践結果

まず、N県内公立A中学校の2年生(5クラス177名)に対し、鉛フリーハンダによるハンダ付け実習の実践を行った。この実習において、ハンダごてには大洋電機産業(株)のKS-30R(30W、ニクロムヒータ)を、鉛フリーハンダには(株)日本スペリア社のSN97C

表1 A中学校良否判定結果（鉛フリー）

良数	6	5	4	3	2	1	0
生徒数	109	38	17	8	1	0	4



(a) 良好なハンダ付け例



(b) 複合不良（イモ、天プラ、ランド剥離）の例
図2 中学生による鉛フリーハンダ付けの例

(Sn-3.0Ag-0.5Cu, 1.0mmφ)を使用した^①。実習後の基板は、全てハンダ付け面のマクロ写真を撮影するとともに文献^②の手法により導通評価を行うことで良否判定を行った。表1に良否判定結果の内訳を示す。半数以上(61.6%)の生徒が評価した6箇所全てに対して正常にハンダ付けできている。評価対象とした1,056箇所のハンダ付けに対し良好と判定されたのは938箇所であり、平均良品率は88.8%であった。図2に中学生による鉛フリーハンダ付けの例を示す。

次に、比較対照としてN県内公立B中学校の2年生(5クラス, 160名)に対し鉛ハンダ(Sn60%)を用いたハンダ付け実習を行った。使用したハンダごてはA中学校で使用したKS-30R(こて先は両中学校とも同一品番の新品を使用)であり、違いは指導に当たった教諭とハンダのみである。平均良品率は評価対象とした950箇所のハンダ付けポイントに対して787箇所の82.8%であった。

表2にハンダ付け不良の原因別内訳を示す。ハンダ付け不良のほとんどが天プラハンダによるものである。

鉛フリーハンダを使用したA中学校の場合、92箇所の天プラハンダのうち72箇所までは導通のない天プラハンダとなっている。これはハンダごてのこて先がリード線に適正に当たっておらず十分に加熱されなかったため、ハンダがほとんどランドに流れてしまったことに起因している。導通のある20箇所の天プラハンダ箇所も同様にリード線が十分加熱されておらず、抵抗リード線とランドの一部のみしかハンダ付けされていなかった。一方、鉛ハンダを使用したB中学校では導通のある天プラハンダ数が導通のないものより多くなっている。これは鉛ハンダの融点が鉛フリーのものに比べて30℃近く低いいため、鉛フリーに対しては不十分な加熱でも接合できたためと考えることができる。

天プラハンダに対してイモハンダは少ない傾向にある。鉛フリーを用いたA中学校の場合、導通不良のイモハンダは皆無であった

表2 ハンダ付け不良の内訳

学校	天プラハンダ		イモハンダ		ランド剥離
	導通なし	導通あり	導通なし	導通あり	
A中学校 PbF, 177名	72	20	0	17	9
B中学校 Pb, 160名	50	68	5	34	1

が、導通のあるイモハンダのうち16箇所は、供給したハンダの量が過大となったため、ハンダが球状に固まったものである。残る1箇所のイモハンダは、ランド剥離を起こしたところに供給されたハンダが球状に固まったものである。その意味では、ハンダ塊がリード線もしくはランドに接しているだけのイモハンダは皆無であったといえる。一方、鉛ハンダを使用したB中学校ではイモハンダの個数がA中学校に比べ倍増し、導通のないイモハンダも発生している。ハンダ種の違いによる融点の違いのほか、指導者による指導要領の違いが影響しているものと考えられる。

“ランド剥離”は、ハンダごてを長く当てすぎたことにより、熱でパターンまたはランド銅箔が基板材から剥離してしまったものである。これは、こて先が酸化して黒くなった状態のままハンダ付けをしようとしたが、ハンダが融けなためハンダごてを当てすぎたことが原因と考えられる。一人で複数のランド剥離を起こしたのはA中学校の1名のみであった。こて先を常にクリーニングしてハンダ付けするように指導することの重要性を再確認できた。

鉛フリーハンダとの良品率の差は数ポイントであり、評価点数に対する標準偏差(鉛フリー:3.1%, 鉛:3.2%)を考慮すれば(指導者による結果の差異が多少あるにせよ)鉛フリーハンダも鉛ハンダもほぼ同じような結果を得られると考えてよい。ハンダ付け不良の多くが天プラハンダであることも共通している。これは基板ランドと部品リード線の両方を同時に暖めなければならないという技能がしっかりと理解されていないためであり、ハンダ種によるものではない。これらのことより、中学校においても鉛フリーハンダによるハンダ付けが鉛ハンダと同様に可能であると結論することができる。

(3) 中学校用エネルギー変換教材の開発

中学校において設計学習の指導を行う場合、木材加工であれば与えられた材料の中で比較的自由度の高い設計が可能である。しかしながら電気に関する設計・製作については、生徒の電気に関する知識が第2学年の理科で学習するオームの法則と電力しかなく、また多種多様な部品を準備することを考えると、自由度を想定することが非常に困難である。

表3 LEDライト点灯仕様

スイッチ			LED		
S3	S2	S1	D3	D2	D1
×	オフ	オフ	消灯	消灯	暗点灯
×	オフ	オン	消灯	消灯	明点灯
オフ	オン	オフ	消灯	明点灯	暗点灯
オフ	オン	オン	消灯	明点灯	明点灯
オン	オン	オフ	明点灯	明点灯	暗点灯
オン	オン	オン	明点灯	明点灯	明点灯

× : Don't care

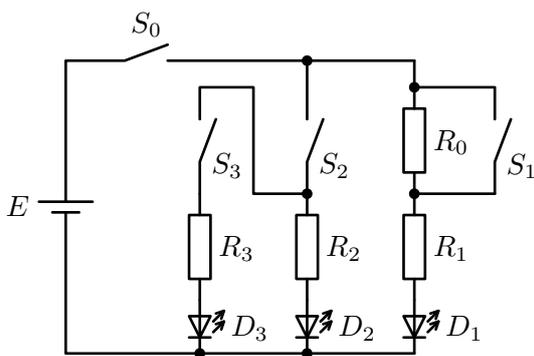


図3 LEDライト回路図

そのため電気に関する製作では市販キット教材を組み立てるだけに留まる例がほとんどであり、そこには工夫・創造する余地は全くない。

「エネルギー変換」で取扱う内容は機械エネルギー及び電気エネルギーに大別できるが、これを約20時間で扱うためには、電気エネルギーに関する学習及び設計・製作を10時間程度に収める必要がある。全く自由な設計はあり得ないので、いくつかの制約条件を課し、その条件の中で生徒が選択できる要素を設計要素と設定した。

題材として、「電池で動作するLEDライト」を選定した。スイッチの状態に応じたLEDの点灯表(表3)が仕様として与えられ、まず、この表から回路配線図(図3)を考えさせる。この回路は単純な2進数コードではなく、温度計コードを模しているため、生徒の理解状況に応じて適切なヒントを提示する必要がある。生徒が設計する要素は次のように設定した：

- ・電池の種類(乾電池, 充電電池)及びサイズ(単3, 単4)
- ・選択した電源に応じたLED電流制限抵抗電池種類及びサイズについては、このライトをどのような用途・環境・条件下で用いるかを生徒に考えさせ、その根拠に基づいて電源を選定することを狙っている。企業が電子機器を開発する際の電源選定と同じような手順を生徒に考えさせることで、機器設計の一端を理解・体験させることを目的としたものである。

指導計画は表4のように作成した。A中学校で行った実践の結果、設計では、自分なり

表4 「LEDライトの設計・製作」指導計画

配当時数	実施内容
1	オリエンテーション 製作工程表の作成
2	LEDライトの設計 ・電源の選定 ・LED電流制限抵抗の計算及び選定 ・回路図作成(一部は課題)
2	ハンダ付け練習(鉛フリー)
5	LEDライトの製作(鉛フリー)

の使用上の目的や条件を明らかにして電源を選んできた生徒が167名中156名(93.4%)であり、全員が自身で選択した電源に合わせたLED電流制限抵抗値を計算することができた。また、回路図の作図をヒント無しで完成させた生徒が43名(25.7%)、ヒントを用いて完成させた生徒が113名(67.7%)、完成させられない生徒が11名(6.6%)であった。製作では、製作品に必要なLED電流制限抵抗を誤って選択した生徒はおらず、167名中167名(100%)が鉛フリーハンダ付けによりLEDライトを完成させることができた。

(4) 教員免許状更新講習の試行

教員免許状更新講習「いろいろなものづくり(環境・電気電子)」において、環境に配慮した電気電子分野の講習を実施した。内容は

- ・化管法やRoHS指令等の電気電子機器をとりまく環境に関する法規制等(講義)
- ・鉛フリーハンダ(講義)
- ・半導体光センサと利用方法(講義)
- ・鉛フリーハンダ及び自動点灯ライトの製作実習

である(全3時間)。

講習参加者が少なかったため具体的な数値データを明らかにすることはできなかったが、現職教員の環境保全に対する意識と実際に行っている製作授業との間にギャップが存在しそうであることが判明した。また実習を通してハンダ付け実習の鉛フリー化を普及させるための資料を得た。

これに基づき、平成29年度から本格的な実施に入ることにする。

(5) その他の成果

本研究の直接の目的ではないが、LEDを用いる教材の一例として、小学校理科で利用可能なLEDライト教材を開発した。

LEDはリード線が硬いので、電線のように撚り合わせて接続をすることができない。研究代表者らは二重リングを用いた接続法を従来提案していたが、小学生には作業が難しいという欠点を有していた^③。これを解決するため、ゼムクリップを利用した簡易配線法を考案し、小学生対象の工作教室において実践することでその有効性を確認した。

(6) 得られた結論

本研究の結果得られた結論は次のとおりである：

- ① ハンダ付け練習のためのプリント基板を開発し、ハンダ付けの結果を評価する手法を確立した。
- ② ニクロムヒーター式のハンダごてであってもハンダ付け作業を鉛フリー化することは可能であり、中学校でも従来の鉛ハンダと同程度のハンダ付け結果が得られる。ハンダごて先端の管理が特に重要であり、常にクリーニングすることを指導する必要がある。
- ③ 中学校におけるエネルギー変換（電気）領域の設計製作教材及び授業を開発し、授業実践により 10 時間で実施できることを示した。
- ④ 教員免許状更新講習を試行し、教育現場への還元・普及を図るための資料を得、平成 29 年度より本格的に実施する。
- ⑤ 関連する成果として、ハンダ付けではなくゼムクリップを用いた簡易な配線方法を考案し、小学生対象の工作教室での実践を通してその有効性を確認した。

<引用文献>

- ① 大原千治，宮崎壮理，武藤浩二，“ハンダ付け実習における鉛フリーハンダ導入可能性についての一検討，”日本産業技術教育学会九州支部論文集，vol. 20, pp. 57-63, Feb. 2013
- ② 宮崎壮理，武藤浩二，“鉛フリーハンダを用いたハンダ付け実習教材及び簡易評価法の一提案，”日本産業技術教育学会第 26 回九州支部大会，B13, Oct. 2013
- ③ 武藤浩二，横尾仁甚，“発光ダイオードを用いた教材の開発及び授業等の実践，”長崎大学教育学部 教育実践総合センター紀要，No. 10, pp. 89-96, Mar. 2011

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 3 件)

- ① 武藤浩二，藤木卓，小八重智史，“中学校における鉛フリーハンダ付け及び回路設計学習の試み，”電気学会電子回路研究会，ECT-016-105, 2016 年 12 月 15 日，東京理科大学森戸記念館（東京都新宿区）
- ② 武藤浩二，“ゼムクリップを用いた簡易電気配線，”日本産業技術教育学会第 29 回九州支部大会，B27, 2016 年 10 月 1 日，長崎大学教育学部（長崎県長崎市）
- ③ 武藤浩二，“中学校における鉛フリーハンダ付けの一実践，”日本産業技術教育学会第 28 回九州支部大会，B27, 2015 年 10 月 3 日，佐賀大学文化教育学部（佐賀県

佐賀市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武藤 浩二 (MUTO, Cosy)

長崎大学・教育学部・教授

研究者番号：30311096

(4) 研究協力者

小八重 智史 (KOBAE, Satoshi)

垣内 光洋 (KAKIUCHI, Mitsuhiro)

大原 千治 (OHARA, Chiyoshi)