

ものづくり工房を活用した電子工作の事例紹介 と公開講座・基板への実装

松岡 敏¹, 伊藤 祐¹, 中村 源一郎¹, 向川 拓臣¹, 溝口 奨吾¹,
永吉 真知子¹, 藤野 宏¹, 羽鳥 広範¹, 新田 武父², 庄司 良^{*3}, 玉田 耕治⁴

東京工業高等専門学校¹ 教育研究技術支援センター,

²電子工学科, ³物質工学科, ⁴電気工学科

(〒193-0997 八王子市櫛田町 1220-2)

*shoji@tokyo-ct.ac.jp

Introduction electronic circuits manufacturing in the manufacturing workshop and open lectures using an electronic hobby kit prepared in the workshop

Satoshi Matsuoka¹, Yu Ito¹, Gen-ichirou Nakamura¹, Takumi Mukougawa¹,
Shogo Mizoguchi¹, Machiko Nagayoshi¹, Hiroshi Fujino¹, Hironori Hatori¹,
Takenori Nitta², Ryo Shoji^{*3}, Koji Tamada⁴

¹Technology Solutions Center, ²Department of Electronic Engineering,

³Departments of Chemical Science and Engineering, ⁴Department of Electrical Engineering
National Institute of Technology, Tokyo College (Kunugida 1220-2, Tokyo 193-0997, Japan)

(Received March 8, 2021; Accepted April 16, 2021)

Abstract

In 2018, Hazamaru Kobo was established as a manufacturing workshop at the National Institute of Technology, Tokyo College. Various tools and machines in the workshop can be used by students and staff. In this paper, some examples of productions, such as experience equipments for open lectures and sensor circuits, in the manufacturing workshop are introduced. Manufactured sensors, consisting of transmission-type photo interrupters, were used personally. Manufacture equipment using solar cells will be used to experience capacitor charging also to understand the utilization of renewable energy. Also, equipment using the FA-130RA motor are used to experience power generation. Both experience equipments will be planned to use in some future open lectures. In addition, we are introducing electronic hobby kits made in the manufacturing workshop in this report with the results of questionnaires administered in open lectures.

Keywords: Manufacturing, Electronic circuits manufacturing, Open lecture, Hazamaru Kobo

1. はじめに

東京高専において 2018 年に、コラボレーション・コモンズ棟と称する新校舎を竣工し、地域との産学連携の核となるべく、社会実装教育の実践拠点として整備された。こ

の棟内に本校の学生や教職員が創造的にものづくりを実践できる工房として『はざまる工房』【1】(以下、工房)を新設し、運用が開始された。それに伴い工房内には、各種の工具、機器が設置された。教職員と本校学生は、工房利

用者講習と各カテゴリ別の機器類利用者講習の受講後には、工房の利用と工房内にある工具、機器の使用が可能となり試作、製作が自由に行える環境ができた。また、教育研究技術支援センター所属（以下、支援センター）の全技術職員が全面的に運用に携わり、各工具、各機器の担当者から事前に講習を受け、学生への講習および利用時のサポートなどを行っている。工房の特徴として、レーザー加工機、ボール盤等の機器、工具類を用いた材料加工からオシロスコープ、ハンダを用いた電子回路製作までの作業工程が一通りできる施設となっている。作業エリアとして2つのスペースに分かれており、ディスカッションや講座開催など多目的スペースとしても利用可能である。また、支援センターの全技術職員が出前授業、公開講座で使用する器具の試作・製作の場として活用することも想定した立て付けになっている。

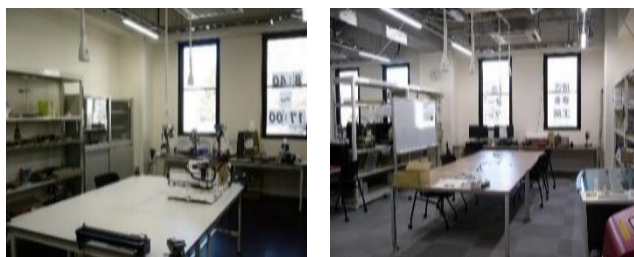
東京高専に限らず工業系の大学・高専には『工房』と同じ様なコンセプトをかかげるファブスペースが設置されている。特に近年 3D Printing に代表されるデジタルファブ리케이션・ツールを活用したイノベーションが注目されている[2]。本多らは、国内のファボラボの整備状況を紹介するとともにその教育的な効果の高さについて論じている[3]。この様な工作スペースではおうおうにして、はなばなしい3D プリンタなどの具体的な見物を伴う工作ばかりに注目が集まり様々な事例が紹介されているものの電子工作など比較的じみで目立たない工作の事例は、十分に紹介されておらず『工房』のようなスペースでどの様な電子工作を可能にしていくことが教育上有効かについての知見は十分集まっている状況とはいえない。講座の実施状況を調べた文献内において、高専教育における電子工作教材の製作の教育的効果について論じており、その教育的効果の高さを示していた[4]。そこで、我々も『工房』において電子工作ができる様な環境を整備すると共に、実践的な事例を蓄積していくことの必要性を認識するに至った。

昨年度に地域等からの要請により、支援センターに依頼があり、社会実装プロジェクト[5]の一環として小学校低学年向けの PC ラックを製作した。これに取り付ける電装系の作製に工房内の機器を活用した。本稿では、センサ部分の作製について報告する。また、小学校学習指導要領内における理科の観察・実験手引内の電気の利用(第6学年 A)の単元内容にある『電気は、作りだしたり蓄えたりできること』[6]などの項目を参考として、支援センターの技術職

員が作製した公開講座用の器具についても報告する。これは技術職員が中心となって作製した教材を基に、教員と連携して公開講座を工房で行うことを想定した工房を活用した初めての器具製作である。また、製作した初心者向けの電子工作キットの他に、中学生向けに作製を行った電子工作キットを用いて、参加者を小学校5年生から中学校3年生を対象として開催した公開講座内容とアンケート集計結果についても併せて報告する。

2. ものづくり『はざまる』工房

工房内の部屋のエリアとして図1(a)(b)のように、作業内容や安全環境の保持に応じた二つのエリアに区別されている。通常時は、機械加工・電子工作エリアにおいて安全性を重視して作業できる人数は、各エリア最大10人(合計20人)を想定している。昨今のコロナ禍における運用としては、各エリア最大5人(合計10人)を想定して工房の運営を行っている。



(a) 機械加工エリア (b) 電子工作エリア

図1 工房内の様子

設備としては、学外ファブスペースを参考に、以下に示す工具・機器の整備を行い、工房の運用を開始した。

- レーザー加工機（非金属加工用）
- 3Dプリンタ（熱融解）
- ボール盤
- 糸のこ盤
- 電源装置
- オシロスコープ
- マルチメータ
- 基板加工機
- モデリングマシン（NCフライス）※既存設備
- カuttingマシン
- ハンドドリル、ニブラ、トリマー、電動ヤスリ
- ハンマー、ノコギリ、カンナ等の手工具

- はんだごて、ニッパ等の電子工作用工具
- グルーガン

現在は、卓上パンチプレス、折り曲げ機、手動射出形成機などの整備も進めている。この工房内の工具、機器を組み合わせて使用することで社会実装教育に必要な電子回路、公開講座の教材、電子工作キットなどの製作を行った。

2.1. センサとインタフェース（回路基板）

製作における工房の活用

タブレット端末を収納する PC ラックにおいて、タブレットの有無を判断のために活用するセンサとして照射部に LED を使用し、受光側に CdS セルを用いて透過型フォトインタラプタの製作を行った。センサとなる CdS セルのピーク波長が 540 nm 付近となるため、光源として波長特性の広い白色 LED を用いた。センサとなる CdS セルが外部照度からうける影響を最小限にし、LED の照射光による信号変化のみを得られるようにレーザー加工機とカッティングマシンを使用して、外観作成を行い CdS セルと LED を収納した。図 2 にセンサ部分となる試作時の外観を示す。

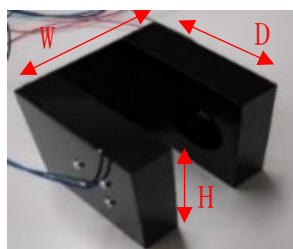


図 2 センサの外観
(W 86mm×D 80mm×H 80mm)

LED の発光照度を決めるため、条件 1 (周囲の照度条件なし)、条件 2 (周囲の照度をできるだけ遮断) の 2 種類の条件下で測定を行った。上記条件の測定結果から、LED の点灯時に照度が 7000 lx 程度、確保できていれば CdS セルの抵抗値 (900 Ω 付近) は、両条件化においてもほぼ同様な値が得られた。これにより、安定動作を優先し、点灯時に照度が約 7000 lx 確保できる電流値として LED に流す電流を決める抵抗値の設定を行った。

図 3 に基板加工機を用いて製作した、センサ部分と表示用 LED を駆動するための基板を示す。回路は、極力簡単な構成にするために、ヒステリシスを利用して安定した信号を取り出すためのシュミット・トリガ・インバータ IC と

LED 駆動に用いるためのインバータ IC のみで構成した。

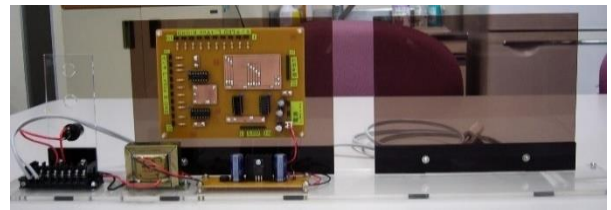


図 3 基板加工機を使用して製作した回路基板

また、図 4 に示す表示器の番号が棚の収納番号に対応しており、センサ信号の変化によって LED が収納時に点灯、持ち出し時に消灯し、離れた場所からでも一目でわかるようになっている。

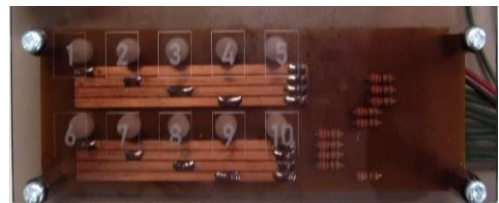


図 4 タブレット収納確認のための LED 表示器

図 5 に作製した PC ラック (電装系) のブロック図と図 6 に動作確認の様子を示す。作製回路基板には、拡張用の端子が設けてあり後付けの拡張基板も接続できるように製作している。

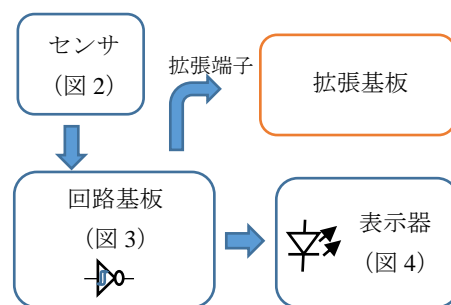


図 5 PC ラック電装系ブロック図



図 6 センサ動作時の様子

製作仕様として提示されたのが、安価な値段での作製、

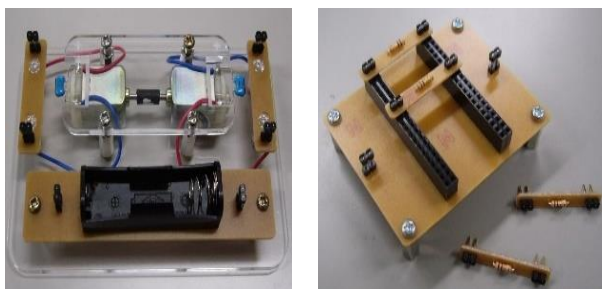
対象年齢を小学校低学年の2点であった。そこで、できる限り部品点数が少ない回路構成として安価で作製することにした。センサ部分は、モータの位置決め制御、速度制御等に使用されるフォトエンコーダ[7]の構造を参考に製作しているため、光の変化を検出することにより光の照射、遮断において光が電気信号に変わる様子[8]を見ることができ、センサが感知した光の変化とLEDの点灯、消灯の変化についての関係に興味を持ってもらう要素を持たせたPCラックとなっている。電気は、光、音、熱などに変換もでき、また逆の変換もできる事を直観的に感じてもらえる教材としての役割もできるのではないかと考えている。

図2に示したセンサの予備実験において使用した測定器は、デジタルマルチメータ(Sanwa:PC-710)、照度計(Sanwa:LX2)である。

2.2. 公開講座での工房の活用

2.2.1 体験系講座

小学校学習指導要領(電気の利用)[8]や理科の観察・実験手引[6](6年生)では、発電実験として模型用小型直流モータを用いた、手回し発電機などが紹介されているが講座で使用する発電器具として図7に示す2点の器具を工房で製作した。図7(a)は、2個のFA-130RA(Mabuchi製)モータを用いて軸どうしを接続し、どちらのモータによる回転力からでも、片方のモータが発電機となる様子を観察できるようにした[7]。図7(b)は、回転速度を変化させるために使用する抵抗取り付け基板と接続用抵抗である。



(a) 発電器具 (b) 抵抗取り付け基板と抵抗

図7 模型用小型直流モータを用いた教材

5個の抵抗を使い端子に接続することで0~1Ωの範囲で抵抗値を変えられるようにし、モータ発生電圧 V_e は式(1)によって求められることにより、回転速度による電圧変化の見える化を考えた[9]。

$$V_e = K\Phi n \text{ [V]} \quad (1)$$

K : モータ定数 Φ : 磁束[wb] n : 回転速度[min^{-1}]

図7の器具を使い、図8の回路図のように接続し、抵抗値を変化させることによりモータ軸の回転速度変化による電圧の変化が確認できる。また、赤枠で囲ったモータ部分を水車(小水力)、プロペラ(風力)に見立てる事により発電所での電気が作られる方法等についても考えてもらえることを想定している。

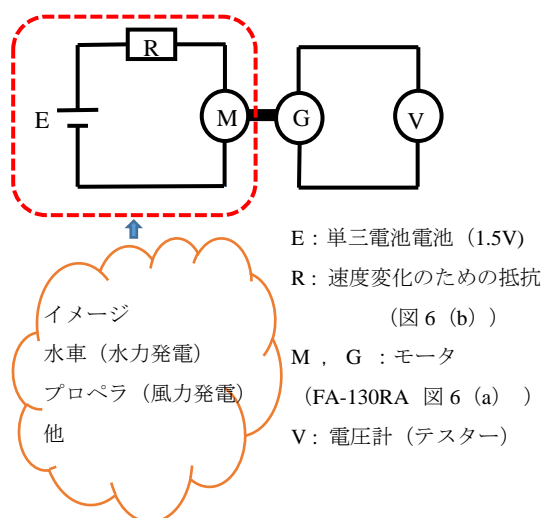


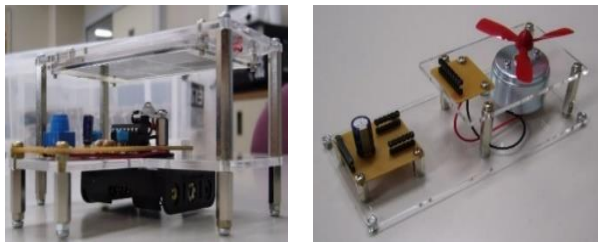
図8 モータ回転力と発電電圧との確認回路

小学校学習指導要領(電気の利用 6年生)内において、「電気の働きを活用したものづくりとしては、風力や太陽光といった自然エネルギーで作りだした電気を蓄電器に蓄えて効率的に利用することを目的とした照明などが考えられる。」[8]と自然エネルギーについても触れていることもあり、蓄電器具として自然エネルギーを利用した、太陽光発電システムをイメージして電気は貯めることができ、貯める事によってどのような効果があるかを実感してもらうことを目的とした、電気(静電)エネルギー W における式(2)の見える化を考えた。

$$W = \frac{1}{2}VIt \text{ [J]} \quad (2)$$

V : 電圧[V] I : 電流[A] t : 時間[s]

コンデンサの充電器具として製作を行ったのが図 9(a), 図 9 (b) の二つの器具である。図 9 (a) の作製した電源は、多結晶シリコン太陽電池 (ダイワ C 型) を使用して、光源となる白色 LED を PWM (Pulse Width Modulation) 回路[10]で制御し、明るさの変化で出力電圧を可変できるよ
うになっている。(開放電圧：約 0.8~1.3 V)



(a) 電源回路 (b) コンデンサと負荷
図 9 太陽電池を用いたコンデンサ充電実験器具

また、白色 LED (ピーク波長：450nm 付近) と多結晶シリコン太陽電池 (ピーク波長：900nm 付近) の波長感度特性が一致しておらず、使用した太陽電池の開放電圧 (最大値) 1.75V 時における最適動作点の電力は 0.57W であるの
に対して、図 10 のグラフで示すように最適値においても少ない発電電力である[11][12] [13]。図 9 (b) のコンデン
サに電気を貯めることにより電源だけでは動くことの無
かったソーラモータ (定格 8.8 mW) の変化について確認
し、電気を貯めることの効果を認識してもらうようにした。

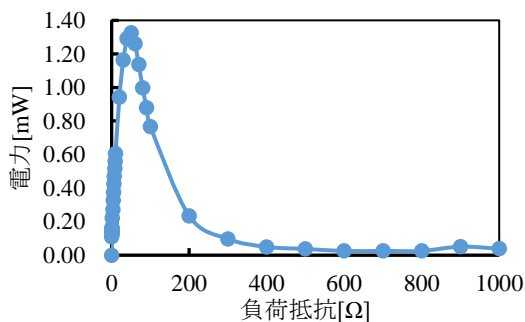
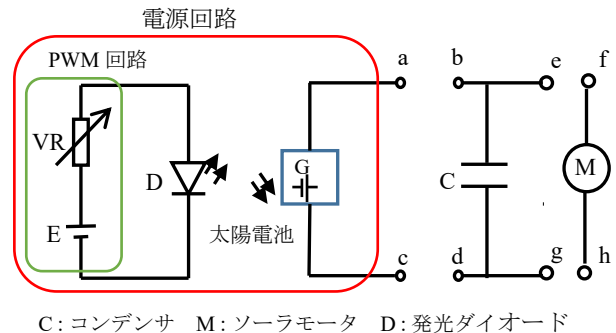


図 10 太陽電池の電力と負荷特性 (開放電圧 1.3 V 時)

図 11 に作製した図 9 (a) の太陽電池を用いた電源と図 9 (b) のコンデンサと負荷を使用した接続の概略図を示す。

図 11 に示す回路を用いて、コンデンサ充電時に a-b, c-d 間を配線で接続し、放電時は a-b, c-d 間を開放し e-f, g-h 間を配線で接続することにより実験を行う。LED の光量変化により図 10 に示す最適動作点で得られる最大電力の

異なる各開放電圧 (6 点) における、コンデンサ充電後にプロペラ (モータ) の回転が継続している放電時間と設定開放電圧の関係を図 12 のグラフに示す。



C: コンデンサ M: ソーラモータ D: 発光ダイオード

図 11 太陽電池出力によるコンデンサの蓄電回路

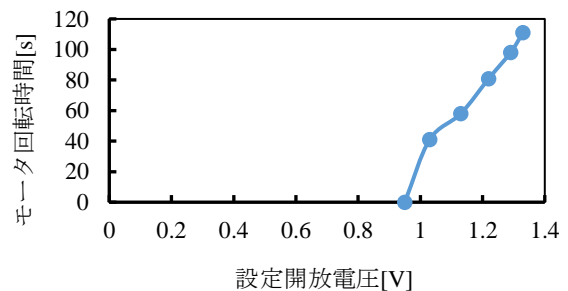


図 12 各太陽電池出力電圧に対する
モータの回転時間 (充電時間: 180 s)

再生可能エネルギーである自然エネルギーの風力, 太陽光などは、環境保全として温暖化対策, 大気汚染対策としての期待があるが発電量が季節や天候に依存するなどの課題がある。この課題を解決する方法の一つとして、蓄電技術があり自然エネルギーを効率よく使用する方法の一つとなる。製作した太陽電池の電源回路は、光源となる白色 LED の波長特性により発電効率がよくない条件に相当するが、コンデンサを用いた蓄電を行うことにより効率よく電気が使用できることをモータの動きを見て確認してもらう。また、電気の蓄電と同じく発電機についても風力, 小水力など自然エネルギー等による発電機の使われ方についても考えることができる教材と考えている。作製した器具は、単三電池で動作するため講座開催時において持ち運びが簡単に行える特徴を持っている。

図 10, 図 12 に示した予備実験において使用した測定器は、デジタルマルチメータ (Sanwa : PC-710, CD-720C), ダイアル可変抵抗器 (YOKOGAWA ELECTRIC : RV-61),

ストップウォッチ（PICCO：W072-4000）である。

2.2.2 工作系講座

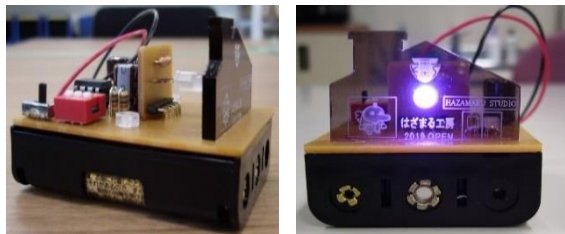
図 13 が作製した工作キットである。『工房』が開設されはじめて作製した工作キットとして、対象年齢を小学校低学年とし、ハンダ付けの初心者でも工作が楽しく行えるように考え作製したものである。レーザー加工機で外形加工と図柄をほどこした図 13 (a) のアクリルプレートに、自己点滅型 2 色 LED を使い図 13 (b) のように簡単に作製できる置物である。講座終了時に参加者から面白かったと声をかけられ、アンケートの評価も良かった工作キットである。



(a) アクリル加工 (b) 完成品

図 13 公開講座用に作成した電子工作キット
(対象設定：小学校低学年)

構成としては、同様なものであるが対象年齢を小学校高学年として、作業時間が少し必要となる別バージョンとして同じく作製をおこなった、マイコンを使用したものを図 14 に示す。図 14 (a) のマイコン制御により RGB フルカラーLED を使用し、生成した 3bit のランダムデータ (M 系列) を用いて、混合色の時間変化による点滅パターンが見れる (図 14 (b)) 工作キットを作製した。



(a) マイコン制御 (b) RGB フルカラーLED

図 14 マイコンを使用した電子工作キット
(対象設定；小学校高学年)

このように近年、工作系講座として対象年齢を考慮しな

がら小学校低学年、小学校高学年などの工作キット作製を行っている。ハンダ付け技術は、ものづくりの基本技術の一つであり工作を通して体験することは、ものづくり教育にも有効である [14]。今年度においても今後、講座で使用する予定の工作キットを現在製作中である。

3. 手づくりの電子工作キットを用いた公開講座

製作対象年齢を中学生に設定して、くぬぎだ祭 (東京高専の学園祭) 期間中に行った、工作キット (レベルメータ) を用いた公開講座の内容とアンケート集計結果について報告する。

図 15 にブレットボードでの試作時に音楽信号を入力し、動作確認を行ったときの様子を示す。回路構成としては、アンプ、ローパスフィルタ、マイコンとなる。マイコンは、安価で購入できる PIC マイコンを使用した。



図 15 試作時の回路動作の様子

マイコンの動作は、図 16 に示すように音声信号波形におけるピークトップのトレースを行い、出力ポートの少ないマイコンでも LED の動作が見えるようにするために出力信号 (L, R) を瞬間的に切り替えることにより、LED の光が消えることなく、一つの出力ポートのみで 2 種類 (L 信号, R 信号) の信号変化の動作が見えるダイナミック点灯制御を使って LED の変化を見ることができるようにした。

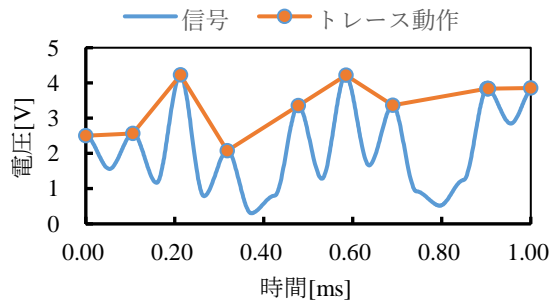


図 16 プログラミングしたマイコンの動作

また音声信号 (L, R) の取り込み処理を行うために使用したマイコンの処理能力では、全周波数帯域までは取り込まず、サンプリング定理 (サンプリング周波数: f_s) によりローパスフィルタで 5 kHz 以上 (カットオフ周波数: $f_c = f_s / 2$) の周波数をカットし、楽器音[15]を含め 5 kHz 以下に大半の音が集中していると判断をして作成を行った。試作時の動作を見る限り、5 kHz 以上の帯域での表示用 LED の反応は鈍いが音声全般の変化に追従しているように見られた。図 17 (a) に作成した工作キット、図 17 (b) に公開講座の様子を示す。プログラミング言語としては、動作処理時間を管理したプログラムを書くことになるためアセンブラ言語を使用し、なるべく容量の小さい軽いプログラム作成を目指した[16]。

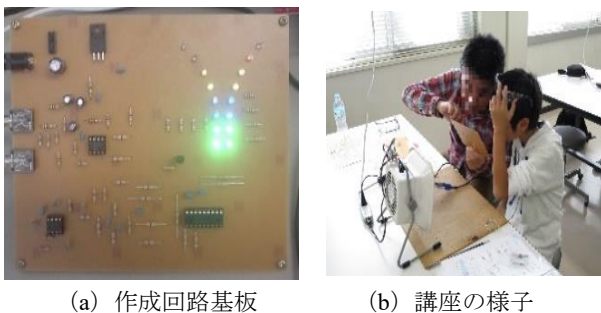


図 17 製作した工作キット

工作終了時に記入してもらったアンケート集計結果の抜粋を示す。製作対象年齢を中学生中心に設定して用意したが、先着順で開催したため小学校 6 年生を中心に小学校 3 年生から中学校 2 年生の年代で講座を開催した。参加人数は、8 名 (小 3 : 1 名, 小 5 : 1 名, 小 6 : 4 名, 中 2 : 2 名) である。親子で 1 組として参加された生徒もいた。支援スタッフとしては、技術職員 5 名で担当席は決めずに、教室内全体をまわりながら工作支援を行った。職員 1 人で、1 人もしくは 2 人の対応となった。

図 18 に工作内容を聞いたアンケート集計を示す。大半の参加者が難しかったと回答しているが、感想を聞いた項目では、参加者全員が面白かった (すごく面白かった (7 人), 面白かった (1 人)) と回答している。サポートをしっかり行うことにより少し高い対象年齢層の工作でも講座として行えると見受けられたが、サポート側の対応人数が課題である。

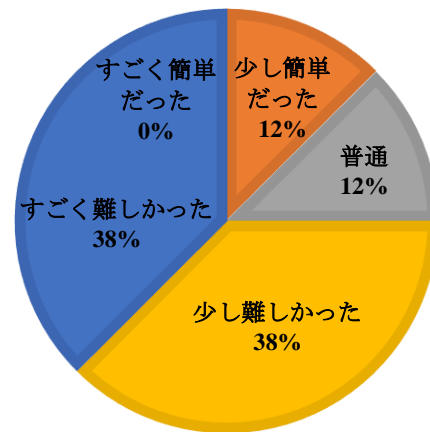


図 18 講座難易度アンケート結果

図 19 に講座内容の質問と作業時間 (「長く感じた」, 「普通」, 「短く感じた」) の割合についてのアンケート集計を示す。難易度のアンケートにおいて、「すごく難しかった」, 「少し難しかった」の中でアンケート結果 (長い, 普通) が分かれており、全体的に、「普通」と「短く感じた」との質問を加えた割合 (50%) と「長く感じられた」(50%) との割合が同じ結果となっている。作業時間的に少しボリュームがあった内容となった。

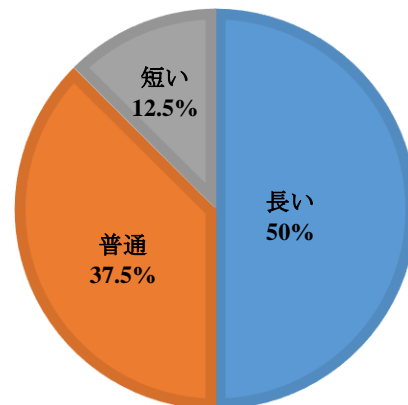


図 19 難易度についての作業時間アンケート結果

アンケート結果より参加者から「面白かった」との評価をもらい、良い評価が得られたと感じたが、作業時間が想定よりかかってしまった。この講座は小人数で行った例であり、多人数の講座を想定したときには、特にどの年代を軸に開催するかも考えて準備しなければならない。対象年齢の設定, それによる作業時間の想定により開催方法に適した工作内容を考える必要がある。

4. まとめ

技術職員の工房活用として個々の電子部品を用いた透過型フォトインタラプタの製作とインタフェース回路となる基板の設計から加工, 回路製作, 公開講座(体験, 工作)の試作例を紹介したが, この他にも学生実験の実験器具の製作にも『工房』内の電子工作, 材料加工機器は使用されている。学生においても個人工作, 社会実装プロジェクト, 卒業研究などいろいろな場面での使用が想定される。学科を問わず, 学生並びに教職員は工房に設置されている機器, 工具類を使用し身近なものづくりを行える場所となっており, これからも『工房』が有効に活用してもらええる施設となるように工房を発展させていく。

5. 参考文献

- [1] 新田 武父, 中村 源一郎, 向川 拓臣, 降矢 司, 永吉 真知子, 藤野 宏, 庄司 良, 大塚 友彦, はざまる工房: ものづくりを創造的に実践するファブスペース, 日本工学教育協会 工学教育, 69 巻, 1 号, pp.1_45-1_48 (2021)
- [2] 中村 翼, 永井 由佳里, デジタルファブリケーション・スペースの普及とその背景, 日本デザイン学会 BULLETIN OF JSSD, pp.238-239 (2018)
- [3] 本多 素子, 飯田 隆一, 大谷 忠, 谷田貝 麻美子, 国内のファボラボにおけるデジタルものづくり初心者に対する支援の現状, 日本科学教育学会 科学教育研究, 4 巻, 3 号, pp.373-382 (2017)
- [4] 山田 健二, 電子工作教材の製作指導, 日本工業教育協会 工学教育, 53 巻, 1 号, pp.94-99 (2005)
- [5] 永井 翠, 安富 義泰, 大塚 友彦, 多羅尾 進, 佐藤 知正, 新保 幸一, 社会変革を担う人材を育成する「社会実装教育」の実践, 日本工学教育協会 工学教育, 68 巻, 3 号, pp.3_65-3_71 (2020)
- [6] 文部科学省: 学習指導要領「生きる力」, 第 6 学年 A (4) 電気の利用, 学習指導要領「生きる力」小学校理科の観察 実験の手引き, pp.161-165 (2011)
- [7] 谷腰 欣司, DC モータの制御回路設計, CQ 出版, pp.18-19 pp.31-32 (1991)
- [8] 文部科学省, 第 4 節 第 6 学年の目標及び内容 (4) 電気の利用, 小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 理科編, pp.82-83 (2017)
- [9] 土井 淳, 佐川 正人, 玉田 耕治, 松岡 敏, 実務に役立つ電磁気学—電磁現象の見える化—, 平成 26 年度全国高専教育フォーラム教育研究活動発表会, AP23_3_1 (2014)
- [10] 鈴木 憲次, DC モータ制御回路を作る, CQ 出版 トラ技 ORIGINAL, No.2, pp.50-60 (1990)
- [11] 山口 静夫, 趙 忻, 生地文也, 宮入嘉夫, 太陽電池の発電用光源としての高出力 LED の検討, 電気関係学会九州支部連合大会講演論文集 2010(0), pp. 1-2 (2010)
- [12] 静岡県総合教育センター, 光技術実習テキスト (全文)「VI太陽電池の特性実験」, 平成 20 年度 情報教育開発推進事業研究報告書 工業部会, pp.39-59 (2008)
- [13] 古屋 耕一, 谷 辰夫, 日射特性を考慮した太陽電池モジュールの出力特性, 電気学会論文誌D (産業応用部門誌), 113 巻, 12 号, pp. 1449-1455 (1993)
- [14] 福井 繁雄, 羽鳥 広範, 松岡 敏, 村田 賢俊, 新田 武父, 小学生を対象とした夏休み公開講座「電子工作入門」について, 日本工学教育協会 工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp.174-175 (2007)
- [15] 理科年表 国立天文台編 (机上版) 第 68 冊, 丸善株式会社, pp.物 81 (501) (1995)
- [16] 青木 宏之, 松岡 敏, 新田 武父, 小池 清之, 学生を夢中にさせるマイコン技術教育への試み, 日本工学教育協会 平成 21 年度工業教育研究講演会講演論文集, pp.222-223 (2009)