

高専での“電子回路×分析化学”をテーマとした実験実習

野田 達夫

1 はじめに

大阪公立大学工業高等専門学校（以下、本校）は、2022年度の大阪公立大学の発足と時期を同じくして、新しい未来社会を創生できる次世代DX技術者の育成を目指したカリキュラム改革を実施した。従来のカリキュラムとの大きな違いの一つとしては、総合工学システム学科の1学科5コース制（機械システム、メカトロニクス、電子情報、環境物質化学、都市環境）から、機械・電気・情報系を中心とした1学科4コース制（エネルギー機械、プロダクトデザイン、エレクトロニクス、知能情報）への再編が挙げられる。著者自身は、2013年に本校へ着任して以降、環境物質化学コースへと所属し、分析化学や無機化学、電気化学の講義や、中和滴定などの分析化学実験、サイクリックボルタンメトリーを使った電気化学測定実験を主に担当してきた。カリキュラム改革に伴って、著者は環境物質化学コースからエレクトロニクスコースへと所属が変更となり、2022年度から1年生対象の電子回路実習を新たに担当することとなった。

これまでに、本校では総合工学システム学科のもと、機械・電気・化学などの学問分野を超えた、分野融合的な実験実習を展開しており、著者自身も専攻科学生とともに、微生物燃料電池を題材としたゲームキット¹⁾や、水溶液の電気伝導度で演奏する楽器²⁾といった教材の開発を行ってきた。新しいカリキュラムで担当することとなった電子回路実習は、上記のような分野融合的な取り組みを実践できる場であると考え、“電子回路×分析化学”をテーマに取り組むこととした。本稿では、今まさに試行錯誤しながら実践している新たな実験実習の内容について紹介したい。

2 授業の位置づけ

本校では、第一学年の通年科目として「総合工学システム実験実習」を開講している。毎週水曜日午前の1時限目～4時限目（1時限あたりの授業時間は45分）に設定されており、ガイダンスや導入教育、さらに予備日などを含めて通年で30週としている。四つのコース（エネルギー機械、プロダクトデザイン、エレクトロニクス、知能情報）からそれぞれ二つのテーマ、合計八つの実験実習テーマが設けられており、第一学年160名

の学生は20名ずつのグループに分かれ、それらを順番に体験する。著者が所属するエレクトロニクスコースからは「micro:bit電子回路実習」と「ブレッドボード電子回路実習」の二つのテーマを各3週ずつ実施しており、前者はプログラミングにより電子回路を制御する内容、後者はブレッドボード上に電子回路を実際に組み立てる内容となっている。なお、ブレッドボードとは、電子部品を差し込むための多数の穴を備えた回路試作用の基板であり、はんだ付けを必要とせず、繰り返し使用することができるため、技術教育に広く利用されているものである。

総合工学システム学科の1学科4コース制をとる本校では、専門コースに配属されるのは第二学年からとなる。入学時より希望コースを決めている学生がいる一方で、ほとんどの学生は第一学年での授業、実験実習、コース紹介などを通じて選択することとなるため、この「総合工学システム実験実習」の内容は、コースの特徴をしっかりと体験できる実習とする必要がある。エレクトロニクスコースでは、電気電子回路や制御に関するだけでなく、電気電子材料や電気化学といった“化学”に関することもカリキュラムに含まれている。こうした科目の特性も踏まえた上で、著者が担当する「ブレッドボード電子回路実習」では、電子回路の組み立てを体験するだけでなく、作製した回路を分析化学実験へと結びつける内容とした。

3 実験実習の内容

「ブレッドボード電子回路実習」のテーマにおいては、週ごとに電子部品やブレッドボード、デジタルマルチメータの使い方を学びながら回路を組み立てていき、作製した電子回路を使った分析化学実験を体験する構成となっている。各週の内容について、次の3・1～3・3項に紹介する。なお、各週に作製する回路の詳細（回路図）については、各項目で示す参考文献を参照して頂きたい。

3・1 ボタン電池で作る酸素センサ（1週目）

電子回路実習に必要な不可欠なデジタルマルチメータを使い、電圧、電流、抵抗の測定について体験する。また、ブレッドボードの仕組みについて、抵抗のみを使用した簡単な回路の作製を通じて学習する。さらに、それ

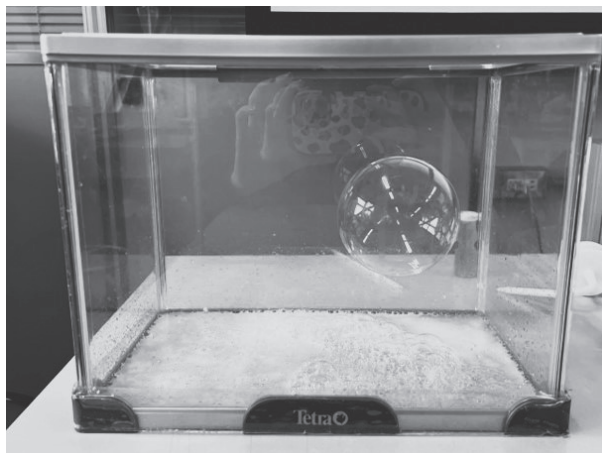


図1 浮かぶシャボン玉

らを用いた実践的な事例として、ボタン電池を使った酸素センサの組み立てを行う³⁾。ボタン電池の電圧が安定するまで若干の時間を要するため、その間に備長炭電池の演示実験（学生の前で備長炭電池を組み立ててプロペラを動かす）を行い、電池の基本的な仕組みについて説明している。作製した酸素センサを用い、大気中と二酸化炭素雰囲気下で電圧がどのように変化するか観察する。二酸化炭素の発生には、クエン酸と重曹の反応を用いる。図1に示すように、水槽の中でクエン酸と重曹を溶かし、シャボン玉が浮かぶ様子を見せることで、二酸化炭素が発生することを視覚的にも捉えられるよう工夫している。

3・2 光を使って溶液の濃度を調べる（2週目）

赤色LEDとフォトトランジスタのはたらきについて学び、それらを用いた回路をブレッドボード上に組み立てる⁴⁾。赤色の光を発する様子、また受け取った光をデジタルマルチメータの電圧値として表示する様子を観察する。作製した回路と緑色の下敷きを用い、色が見える仕組みや色相環、補色について学習する。さらに、図2に示すように、3Dプリンタで作製したセルホルダをブ

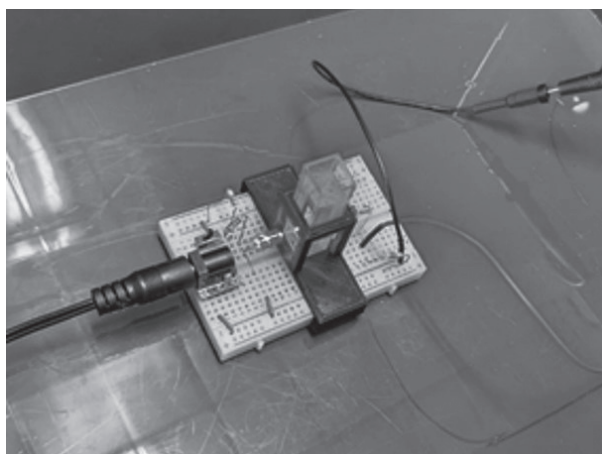


図2 透過光の強さの測定

レッドボード上に装着し、アクリルセル内に満たした青色食用色素溶液について、透過光の強さを測定する。このとき、色素溶液の希釈や共洗いなど化学実験に関する操作も体験する。ランベルト・ベールの法則について学習するとともに、関数電卓を用いた対数計算、吸光度の算出、グラフ用紙への検量線の作成を行い、最後に濃度が未知の青色色素溶液の定量を行う。

3・3 水溶液で演奏する楽器を作ろう！（3週目）

トランジスタやコンデンサの性質について学び、それらを用いた発振回路の組み立てを行う。トランジスタの働きについては、指でLEDを光らせる回路（回路内の露出した芯線部分に指先を押し付けると、指先に小さな電流が流れる。これにより、トランジスタが作用してLEDが光る）の作製を通じて学習する⁵⁾。コンデンサについては、充電・放電が可能であることを教員がアニメーションなどを用いて説明するとともに、デジタルマルチメータを用いて静電容量の測定を体験する。本実験では静電容量の値が数十nFのものを扱うため、ナノやピコといったSI接頭語をあわせて学習する（コンデンサ本体の容量表記はpF単位であるため、ピコについても説明が必要）。続いて発振回路の組み立てへ移るが、発振回路の理論的な内容については、1年生を対象とした本実習時間内での取り扱いが難しいため、詳細な説明は省略し、このような回路を組み立てれば音が鳴る回路を作製可能であることの体験に重きを置いている。ブレッドボード上に発振回路を組み立てて、導通があるかチェックできるテスターや可変抵抗の操作で音が変わる電子楽器を作製する⁶⁾。ここで、後者の電子楽器の可変抵抗を2本のプローブへと付け替える。図3に示すように、3Dプリンタで作製した容器へジグザグに水道水を張り、2本のプローブの先端を浸漬する（プローブ間の距離を長く確保できるよう、ジグザグの形状にしている）。学生はプローブを自由に動かし、プローブ間の距離によって音がどのように変わるかを観察する。次に水

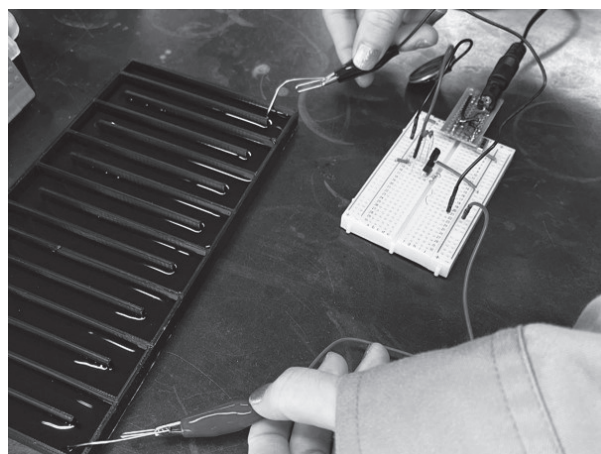


図3 水溶液にプローブを浸漬しての演奏

道水を食塩水に入れ替えて、同様の実験を行い、溶液の種類によって音がどのように変わるかも観察する。これらを通じて、水溶液の抵抗（電気伝導度）を感覚的に捉えて学習する。

4 受講学生の反応

上記の実験は2022年度の1年間にわたって、第一学年の約160名の学生に対して実施した。受講学生へは、各週の実験への自身の取り組み姿勢について、選択回答形式の自己評価シートに記入してもらった。また、実験に関する報告書の作成を課しており、「考察・感想」の項目に実験内容に関する内容を自由に書いてもらった。本稿では、受講学生の反応として、自己評価シートの集計結果と「考察・感想」の記述内容の一部を紹介する。

4.1 自己評価シートの集計結果

自己評価シートにはいくつかの質問項目を用意しているが、本稿では「実験実習への取り組み姿勢」と「実習内容の理解」に関する項目だけを取り上げたい。

4.1.1 実験実習への取り組み姿勢について

「①大切なことはメモに取り、実験にも班員と協力して積極的に取り組んだ」「②教員の説明を黙々と聞くだけで実験にもあまりかわらなかつた」「③ポーっとして説明を聞いておらず実験にも参加しなかつた」の三つの選択肢から選んでもらった。1週目、2週目、3週目のいずれの実験実習についても、受講学生のほとんどが①を選び、②を選んだ学生が2~3%程度、③を選んだ学生は全くいなかった。本実験実習は、実験器具の数の都合上、教員側で指定する2~3人のグループで実施している。教員側から見ても、グループ内の誰か1人だけが実験に取り組んでいるということではなく、お互いに協力しながら取り組んでいる様子であった。

4.1.2 内容の理解について

主に報告書について、「①自分が理解した内容を友達に教えてあげられるぐらい理解した」「②調べたり聞いたりして内容を理解した」「③友達のをとにかく写したので内容はよくわからない」の三つの選択肢から選んでもらった。1週目、2週目、3週目のいずれの実験実習についても、6~7割程度の学生が①を、残りの3~4割の学生が②を選んでおり、③を選んだ学生は全くいなかった。報告書には、実習内容に関する計算課題も含まれているが、実習終了後にお互いに相談しながら取り組む姿や著者へヒントを求めて質問する学生もあり、全体的に熱心に取り組んでいるように感じられた。

4.2 「考察・感想」項目の記述内容

次に、報告書の「考察・感想」欄に記載された内容について、実施週ごとに紹介する。著者が全員分に目を通し、よく見られる単語や特徴的な内容のピックアップを行った。以下、出現頻度の多かった単語については『』を用いて記載する。

4.2.1 1週目についての記述内容

記載内容全体を見渡すと、『ブレッドボード』を使うと『回路』を『簡単』に作ることができる、『ボタン』『電池』が『酸素』『濃度』によって『電圧』が『変化』する、『重曹』と『クエン酸』で『二酸化炭素』が発生して『シャボン玉』が浮き続ける、など実習内容のキーワードとなる語が一通り網羅されているようであった。『デジタルマルチメータ』や『ブレッドボード』を初めて使用した学生が多かったが、それらの道具の便利さに気づいた一方で、自分で『回路』を作ることを『難しい』と感じた学生もいたようである。特に、この1週目の実験については、酸素センサの体験後に、『回路』図だけを見て自分たちの力で『ブレッドボード』上に『回路』を組み立てる『課題』を与えており、そこで『ブレッドボード』の仕組みを理解する学生が多く見られた。また、『電池』で『酸素』を測定できることに『驚いた』、電子『回路』の組み立てや化学実験など様々なことを体験できて『楽しい』と記載する学生もいた。

4.2.2 2週目についての記述内容

1週目に続いての『ブレッドボード』での『回路』の組み立てに慣れてきたと記載する学生が多く見られ、『LED』による発光と『フォトトランジスタ』による発光、『色』が『見える』『仕組み』や『補色』、『光』の『吸収』と『色素』『溶液』の『濃度』の関係など実習に関するキーワードが一通り現れていた。『計算』が『難しい』との感想が見られたが、実験結果として得られた電圧の値を、ランベルト・ベールの法則へと当てはめて吸光度を求めるには、対数を用いた計算が必要となる。本校では対数を1年生後期の数学の授業にて学習するため、多くの学生が対数を知らない状態で本実験に臨む。そもそも対数とは何か、また関数電卓を使った対数の計算に戸惑う者も多かったようである。ただ、実験に参加した全ての学生がこれらの計算を乗り越え、『色素』『溶液』の『濃度』と吸光度の関係を表す検量線を『グラフ』用紙に作成するに至っており、中には授業終了後にExcelで『グラフ』を自主的に作成して報告書に添付する学生も見られた。

4.2.3 3週目についての記述内容

『トランジスタ』や『コンデンサ』の『役割』を学ぶことができた、『水溶液』に『電気』を『通す』ことで

『音』が『変わる』、『抵抗』の『大きさ』が『音』を『変える』、『水』に『食塩』を溶かすことで『抵抗』が『小さい』ものになるなど、ここでも実験内容のキーワードに関する記載が多く見られた。その他にも『電子』『楽器』を作製して『演奏』することが『楽しい』ことや、「ブレッドボード電子回路実習」テーマの最後の実験でもあるため、3回の実験で電子回路やエレクトロニクスコースに興味を持ったなどの感想も得られた。少数ではあるが、水の電気伝導度に興味を示す一方で、今回の内容がどのような形で社会に役立つかわからなかった、との意見もあった。電気伝導度法は塩分濃度計などの原理であることを説明してはいるが、ピンときていない学生もいるようであった。1週目は酸素センサ、2週目は吸光度計と実験内容から社会での活用の姿がイメージしやすかった分、3週目は見せ方の工夫が必要であると感じた。

5 おわりに

近年、ブレッドボードやマイコンを使用した実験機器を自作し、化学実験教材へと適用する事例が多く見られるようになったが、実際に授業実践を行った事例は著者が知る限り少ない。1章で述べた本校の新しいカリキュラムへの改革に伴い、著者は新たな授業や実験実習の担当を予定している。今後も“電子回路×分析化学”のような分野融合的な“ものづくり”をテーマとした授業実践に挑戦していきたいと考えている。

謝辞 本稿で紹介した実験実習を進めるにあたり、ご協力を頂いた大阪公立大学工業高等専門学校 生産技術センターの小原和昭氏に感謝を申し上げます。

文 献

- 1) 櫻井 渉, 戸谷明寛, 山中亮輝, 西村拓巳, 牛本 滯, 大井かなえ, ワラセト ポンプサンティ, 辻元英孝, 野田達夫: 大阪府立大学工業高等専門学校研究紀要, **52**, 51 (2018).
- 2) 岸本泰海, 喜多峻介, 木本一記, 島 華穂, 渡邊晃生, プンマート ピチャエート, 西岡 求, 野田達夫: 大阪府立大学工業高等専門学校研究紀要, **53**, 27 (2019).
- 3) 高橋三男: “[酸素が見える!] 楽しい理科授業 (酸素センサ活用教本)”, (2017), (日刊工業新聞社).
- 4) 井奥加奈, 光永法明, 任田康夫, 種田将嗣: 大阪教育大学紀要 自然科学・応用科学, **68**, 149 (2020).
- 5) 鴨澤眞夫訳: “Make: Electronics 第2版一作ってわかる電気と電子回路の基礎”, p. 76 (2020), (O'REILLY Japan); Charles Platt: “Make: Electronics, 2nd Edition”, (2015), (O'REILLY).
- 6) 西田和明: “たのしくできる 光と音のブレッドボード電子工作”, p. 32 (2017), (東京電機大学出版局).



野田 達夫 (Tatsuo NODA)

大阪公立大学工業高等専門学校総合工学システム学科エレクトロニクスコース (〒572-8572 大阪府寝屋川市幸町26-12). 京都大学大学院農学研究科博士後期課程修了。博士(農学)。《現在の研究テーマ》分析化学や電気化学などに関する教材作成および授業実践。
E-mail: nodat@omu.ac.jp

原 稿 募 集

「技術紹介」の原稿を募集しています

対象: 以下のような分析機器, 分析手法に関する紹介・解説記事

- 1) 分析機器の特徴や性能および機器開発に関わる技術,
- 2) 分析手法の特徴および手法開発に関わる技術,
- 3) 分析機器および分析手法の応用例,
- 4) 分析に必要な試薬や水および雰囲気などに関する情報・解説,
- 5) 前処理や試料の取扱い等に関する情報・解説・注意事項,
- 6) その他, 分析機器の性能を十分に引き出すために有用な情報など

報など

新規性: 本記事の内容に関しては, 新規性は一切問いません。新規の装置や技術である必要はなく, 既存の装置や技術に関わるもので構いません。また, 社会的要求が高いテーマや関連技術については, データや知見の追加などにより繰り返し紹介していただいても構いません。

お問い合わせ先:

日本分析化学会『ぶんせき』編集委員会

[E-mail: bunseki@jsac.or.jp]