

令和 2 年 5 月 25 日現在

機関番号：16101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2019

課題番号：16K12792

研究課題名(和文) 装置設計・製作を取り入れた工学教育が工学部化学系学生に及ぼす教育効果の研究

研究課題名(英文) Educational effects of engineering education project including design and fabrication of apparatuses on the chemistry-based engineering students.

研究代表者

上田 昭子 (UETA, Shoko)

徳島大学・技術支援部常三島技術部門・技術員

研究者番号：30597836

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：工学部化学系の学生は現状のカリキュラムでは各種装置の原理を学習するものの、様々な因子を考慮に入れて意思決定を行うという設計を体験できる機会はほとんどない。本研究では化学で用いる装置の設計および製作を体験させ、その教育効果を評価した。この研究では、最初に界面張力測定装置を取り上げた取り組みを実施した。続いて電解質の溶解度を電気伝導度によって測定する装置の設計及び製作を行った。最終年度には深層学習技術をpH測定に応用する取り組みを行った。いずれのプロジェクトにおいても被験者である学生は装置の設計を体験することができ、また原理となる現象の理解を深めることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

化学産業では実験や分析、それに物質生産を目的として多様な装置が活用されている。工学部化学系の学生は就職後にそのような装置の開発に携わるケースが多い。しかし現状のカリキュラムでは、装置を設計してその性能を評価することを体験する機会が少ない。本研究では、3件の装置設計プロジェクトを考案し、実際に学生に体験させた。いずれのプロジェクトにおいても、設計において主体性、協調性や創造性が重要であることの理解や、題材とした装置の原理となる現象の理解を深めることができた。さらに設計ではしばしば異分野の技術や知見が必要になるという体験を通じて、学習の視野を広げる効果も見られた。

研究成果の概要(英文)：Students majoring industrial chemistry learn principles of various apparatuses used in chemical industry. However, there are almost no opportunities to experience design, which requires the process of decision making. This research was conducted to evaluate the educational effects of design and fabrication of chemical apparatuses on such students. To achieve this goal, several design projects were carried out. In one of the projects, students experienced design and fabrication of an apparatus for measuring surface tension. Measurement of solubility from the change in conductivity was also one of the project theme. In another project, deep learning neural network was applied to measurement of pH of solutions. By enrolling the projects, students broadened their horizons and deepened the understanding of phenomena behind the principle of measurements.

研究分野：有機化学

キーワード：設計 測定装置 溶解度 界面張力 深層学習

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

化学産業においては、他の産業分野と同様に、製品を製造する装置が欠かせない。工学部化学系の学生は就職後にそのような装置の設計や運転にかかわるケースが多い。しかし、現状のカリキュラムでは装置の原理を学習するものの、様々な因子を考慮に入れて意思決定を行うという設計作業を体験できる機会はほとんどなく、卒業研究で実験装置の構築を経験する程度である。

化学系学科の新生は、「化学はフラスコを使って合成を行う学問」といったイメージを抱いている。しかし化学産業で実際に仕事をする際には、このような理学としての化学に加え、化学のための装置やシステム論、化学のための機械、電子工学といった広い分野の素養が求められる。このため、工学部化学系の学生に対して、大学入学後の早い段階で化学が多様な学術分野と深く関連していることを認識させることは極めて重要と考えられる。これにより、専門とする化学を学習する意義をより深く理解できるだけでなく、興味の範囲を広げることができる。

このような教育は、いわゆるモノづくり教育や、装置設計・製作の体験などを通じて実践できる。しかし、化学の分野でのモノづくり教育プログラムの構築は難しいとされ、他の分野に比べてあまり開拓されていない。これは化学では創意工夫を凝らした実験では危険が伴う場合が多いためである。

以上の経緯から、我々は安全に行える装置設計・製作プロジェクトを創出し、学生に体験させることが有益であると考え、本提案を立案するに至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、各種測定装置の設計・製作を含む教育プログラムを開発し、実際に実施してその教育効果を検証することにある。

3. 研究の方法

各種測定装置の設計・製作を行い、実際にそれを利用したミニ研究プロジェクトを実施する。テーマとしては、気泡法による表面張力測定装置の開発をはじめとする 3 件のテーマを取り上げる。被験者は大学 1 年生の有志とする。実施後は被験者へのききとりを行ってその教育効果を検証する。手法の有効性が示されれば、研究期間終了後になるべく多くの学生に体験できるような仕組みを予算も含めて検討する。

4. 研究成果

本研究では、3 件の設計プロジェクトを実施した。その内容と成果について以下に述べる。

(1) 界面張力測定装置の設計・製作プロジェクト

界面張力は、液体の挙動や、液体を使った材料合成で重要になる性質であり、化学においてこれに対する理解は極めて重要である。市販されている界面張力測定装置は高価であるが、一方で精度が悪くともこれを安価な手作りの装置で測定する体験は、技術者教育において貴重であると考えた。さらには、界面活性剤の種類や濃度を変えて界面張力の測定を行いその変化の様子を考察することで、界面張力への理解が一層進むと期待できる。

被験者は徳島大学工学部に在籍する 4 名の大学 1 年生である。まず、考えられる測定法の原理について説明した。水中にチューブを設置し、そこに空気をゆっくりと押し込んで、先端から気泡を生じさせる。空気をチューブにゆっくり押し入れると、チューブ先端で気泡が成長し、一定の大きさに成長したときに先端から離れ、単一の気泡として上昇する。チューブの先端で気泡が成長している間は、チューブ内の圧力は界面張力の影響を受けて上昇し、気泡が離れると急激に降下する。このときの最大の圧力は、圧力、浮力、界面張力のバランスで決定される。従って、チューブ内部の圧力を測定し、気泡の発生に伴って内圧が振動する際の最大の圧力を測定すれば、計算によって界面張力を求めることができる。

以上の情報をもとに、被験者は装置の設計を進めた。チューブの水中での位置をはじめ、固定方法、圧力の測定方法、空気の導入方法などについて議論を重ね、装置の設計を完了した。実際にその装置を製作して、界面張力の測定実験を行った(図 1)。実験中は、最初から正しい測定値を得ることができなかった。このため、設計通りに装置が動作するかを確認しながら、また改善点を議論しながら装置を改良した。最終的に水の表面張力を誤差 2%の精度で測定することに成功した。

プロジェクト終了後に学生からヒヤリングを行ったところ、界面張力およびそれに関連する現象に関して理解が深まったとの意見が多く聞かれた。一方で、実験のトラブルを学生だけで解決することは難しいケースが見られ、教員の指導・関与が必要な教材であることも明らかとなった。

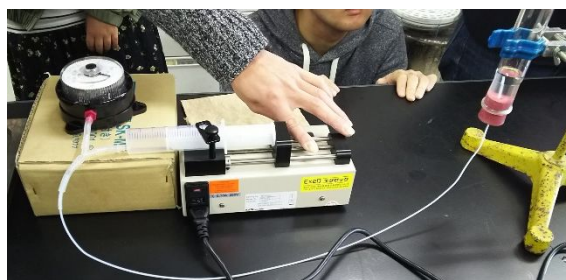


図 1：被験者が設計・製作した界面張力測定装置を使った実験の様子

(2) 溶解度測定装置の設計・製作プロジェクト

3名の大学1年生を被験者として、溶解度測定装置の設計、製作プロジェクトを実施した。溶解度の性質については大学1年生でもよく理解していると考えられる。

まず溶解度が化学物質の重要な特性であることを説明した。その上で、どのようにしたら定量的に測定が可能となるのかを考えさせた。化学物質には多様な種類があるが、電解質であれば濃度によって電気伝導度が変化するという性質を活用して溶解度の測定が可能である。このような理由から、電気伝導度の変化によって飽和状態を検出する手法を用い、溶解度を自動的に測定する装置の設計・開発を目指すこととした。

安全に取り扱える代表的な電解質として塩化ナトリウムを取り上げた。実験にあたっては、被験者同士で具体的な実験方法を議論させた。既知量の水と塩化ナトリウム

を用い、塩化ナトリウムの結晶が残存する飽和懸濁液を調製した。これに対して水を少量ずつ加えていくと結晶が少しずつ溶解していき、全ての結晶が溶解すると電気伝導度が降下を始める。この電気伝導度が降下し始めたときまでに加えた水の量から溶解度を計算できる(図2)。

実際に実験を行ってみたところ、測定値と文献に掲載されている値とは約14%の誤差が認められた。実験後は、誤差の原因と改善方法について考察させた。意図した現象と実際の現象との違いを注意深く観察、考察させることにより、電気伝導度と濃度の関係、電気伝導度計の測定原理、結晶溶解現象について理解を深めることができた。

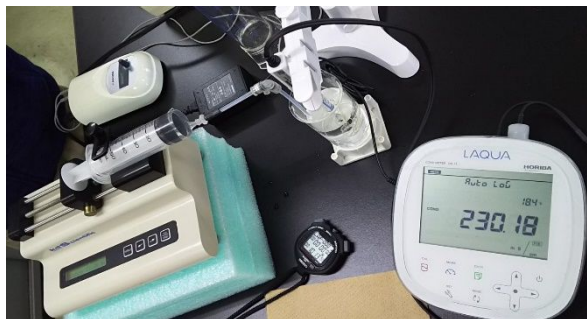


図2：製作した溶解度測定装置

(3) AIを利用したpH測定装置の設計・製作プロジェクト

深層学習技術は人工知能技術の1つであり情報分野の技術であるが、化学分野でも大いにその活用が期待されている。このような新しい技術をいち早く理解し展開していく素養は、技術者・研究者として極めて重要である。深層学習は画像認識において高い性能を発揮している。化学においては人間が目視で判断している場面が少なくないので、活用できる場面は多いと考えられる。そこで本プロジェクトでは、深層学習を利用してpH指示薬の色からpHの値を関係づける人工知能を構築することを目的とした。

プロジェクトでは徳島大学工学部の1年生4名を対象とした。まず、溶液のpHは溶液の反応などに影響を与える重要な特性であることを学生へ説明した。一般的な電極を用いたpH測定において、強酸、強塩基を測定した後は使用した電極を十分洗浄した上でpHの再校正を行わなければ、測定されるpHに大きなズレが生じ正確なpHが測定できないことを実験にて体験させた。また、pH試験紙のような試験紙を用いる場合には、その色合いを人間が指標となる色見表と照らして判断するため、個人誤差が生じることも確認させた。このような色による判断をする上で昨今注目されている深層学習は最適なツールであること、それを用いると深層学習ニューラルネットワークが瞬時にpHを判断することを調査させた。

AI構築に必要なコードは、予め修士学生が基本形を準備した。被験者はAIに学習させるための画像取得方法を検討するとともに、AIの予測精度を評価した。まず、画像取得のためにpHの広い範囲で色調変化を示す山田式万能指示薬を調製させた。塩酸および水酸化ナトリウム水溶液を適量添加してpH調整することで、低pHから高pHまでの画像取得を行った。

その後、指示薬によって着色したビーカー内の溶液の写真とpHの値との関係をAIに学習させた。pHが未知の溶液の画像を撮影し、AIにpHを判断させた結果と電極によるpH測定結果を比較したところ、95.6%の精度でpHの判別に成功した。

実験後は、人が判断する色見の精度とAIが判断する色見の精度のそれぞれの利点、欠点についての考察と、AIをより高効率に活用するための方法について検討させた。AIが適用されることにより人間の仕事が奪われるなどの負のイメージを持っていた被験者も、本プロジェクトによるAI構築を通じてAI導入の利便性と将来の可能性について理解が深まった様子が見受けられた。化学の枠を超えて新しい技術を取り込むことの重要性を理解させることができたと考えられる。

以上3つの設計・製作プロジェクトのいずれにおいても、明確な目的と簡単な原理を示すことで、設計、製作、不具合の原因究明と解決を行い、さらに最終的に装置を完成させるという経験をさせることができた。被験者は装置に関連する文献や理論値との誤差等について自主的に調査を行っていた。プロジェクトが進行するにつれて積極的に取り組む様子が多く見られ、自ら行動を起こして探求する素養が育成されたと言える。いずれのプロジェクトも、テーマとなる現象に対する理解を深めるために有効な取り組みであると考えられる。

事後のアンケートにおいては、役割分担や情報共有が円滑に行えた点が良かったと回答した被験者が見られた。課題に対してチームとして意見交換しながら問題解決を進めていくという体験が得られたことに加え、被験者がほぼ初対面同士の大学1年生であったため、本プロジェク

トが交流を深めるための材料としての効果を示したものと考えられる。

一方で、測定装置を何もないところから構築するため、予期しないトラブルが発生する。経験の浅い被験者だけではそのようなトラブルを解決できないので、教職員が積極的に関わる必要がある。トラブルを回避するために十分な予備実験を実施しておき、失敗しない方向にプロジェクトの進行を誘導するという方法も考えられる。しかし、ある程度失敗を経験しその原因について考察することも重要であることから、教職員が与える手掛かり等の情報量を適宜調整しながら、プロジェクトを進行することが理想的である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

| | |
|---------------------------------------|-------------------|
| 1. 著者名 上田 昭子, 外輪健一郎 | 4. 巻 2 |
| 2. 論文標題 導入教育としての物性測定装置作製の取組 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 徳島大学技術支援部技術報告 | 6. 最初と最後の頁 1~3 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 外輪健一郎, 上田昭子 |
| 2. 発表標題 界面張力測定装置の設計・製作プロジェクト |
| 3. 学会等名 平成29年度大学教育カンファレンス in 徳島 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 上田昭子, 外輪健一郎 |
| 2. 発表標題 導入教育としての物性測定装置作製の取組 |
| 3. 学会等名 2019年日本化学会中国四国支部大会 徳島大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 上田昭子, 外輪健一郎 |
| 2. 発表標題 装置設計・製作を取り入れた化学分野における導入教育の開発 |
| 3. 学会等名 令和元年度全学FD推進プログラム大学教育カンファレンスin徳島 |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|---------------|---|--|----|
| 研究 分担 者 | 外輪 健一郎 (SOTOWA Ken-Ichiro) (00336009) | 京都大学・工学研究科・教授 (14301) | |