

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：16101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650559

研究課題名(和文)測定装置の開発を通じた化学分野のものづくり教育の研究

研究課題名(英文) Monozukuri education for chemistry students through development of analytical instruments

研究代表者

上田 昭子 (UETA, Shoko)

徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・技術職員

研究者番号：30597836

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)：化学分野では有害な試薬を用いることが多いため、ものづくり教育はあまり実践されていない。我々は、化学実験用の各種測定装置を自作することで、化学分野のものづくり教育を安全に実施できるのではないかと考えた。そこで、実際に学生に対して、粒径分布測定装置および自動滴定装置を自作するプロジェクトを実施した。プロジェクト実施後に被験者に対してアンケート調査を行った結果、提案する取組がものづくり教育として有効であることが示された。

研究成果の概要(英文)：There exist only limited number of Monozukuri education programs for university students in chemistry-oriented departments. This is because entry-level students do not have a skill to handle a variety of harmful chemicals in the chemistry lab. In this study, we hypothesized that the Monozukuri education can also be realized in projects to design and fabricate analytical instruments used in chemistry lab. Three different projects on the basis of this concept were conducted, and a particle size analyzer and an automatic titrator were developed by students involved in the projects. Post-project survey showed that the proposed methods are valid as Monozukuri education for chemistry-oriented students.

研究分野：教育工学

キーワード：ものづくり教育 導入教育 粒径分布測定装置 自動滴定装置

### 1. 研究開始当初の背景

理科離れが進んでいると言われる現代では、工学教育におけるものづくりの重要性が高まっている。大学の工学系の学部では機械から情報にいたる各種の分野が存在するが、化学の分野でのもの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のが実情である。これには様々な理由が考えられるが、化学分野では有害な試薬を使用する機会が多く、その取扱いに慣れていなければ創意工夫を凝らした実験を行うことは危険である点が代表的と考えられる。

我々は、化学におけるものづくり教育として必ずしも化学という言葉から連想される合成実験を主眼に置く必要はなく、創意工夫によって何かを作り上げて目的を達成するという経験こそが貴重という立場に立脚した教育プログラムが重要であると考えた。そこで化学の実験で使用する測定装置の製作を通じたものづくり教育プログラムを創出することを目指し、本提案を立案するに至った。

### 2. 研究の目的

本研究では、化学分野で使用する分析装置を設計、製作する取組を行い、それが有するものづくり教育としての効果を評価することを目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究の期間は3年である。各年ごとに数名の学生を選んでグループを形成させ、被験者とした。そして、それぞれ設計・製作する装置をテーマとして与えた。被験者が製作した装置を実際に使用して測定実験を行って性能や使いやすさ、改良点などについて議論した。最後にアンケートを行い、ものづくりや創意工夫に対する考え方への変化を調査した。

### 4. 研究成果

(1) ものづくり教育は初年度の学生に対して実施することが効果的であると考えられる。しかし、入学直後の学生のみでチームを構成すると、メンバー同士がお互いをよく知らないために取り組みがスムーズに進まない可能性が考えられた。そこで、まず、友人同士である3年生を被験者として取組を実施し、手順の確認と有効性を予備的に判断することとした。

被験者を募ったところ、4名の有志を集めることができた。テーマとして粒径分布測定装置の開発を題材として与えた。まず被験者に対して趣旨を説明したのち、製作しようとする測定装置の原理のみを説明した。その上で、対象とする粒子のおおよその粒径を提示し、測定装置を設計させた。今回のプロジェクトでは、硫酸ナトリウムと塩化バリウムの水溶液を混合して生じる、硫酸バリウム粒子の粒径分布を測定することとした。この粒子はおおよそ1マイクロメートルオーダーの粒子となることがあらかじめ分かっている。設

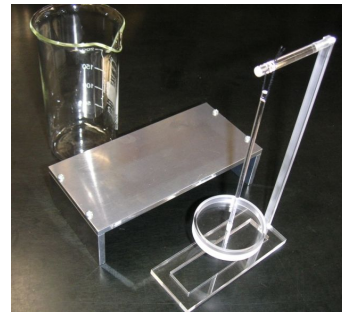


図1：設計・製作した粒径分布測定装置

計の際にはこれを条件として与えた。設計を進める際には、教員は最小限のアドバイスを与えるにとどめ、装置の設計、製作の主体が学生となるように配慮した。

本取組によって完成した測定装置を図1に示す。これを用いて硫酸バリウムの微粒子サンプルの粒径分布測定を行った。製作した装置で粒子径分布を測定した結果は、レーザー回折式粒径分布測定装置(日機装、マイクロトラック)で測定した結果とほぼ一致した。これにより、設計した装置が十分な精度を有していることが確認できた。

実験終了後にアンケートによって被験者の意識を調査した。今回の装置を設計するにあたって終末沈降速度やストークスの式といった事項の理解が必要であった。本取組みを通じてこれらの事項への理解度の変化について尋ねたところ、全員理解度が深まったと回答した。

さらに、設計という活動に関して多くの感想が見られた。「授業での学生実験とは異なり、実験装置の設計から始めたので新鮮」「みんなの意見と自分の意見を合わせて実験器具を考案できてすごく楽しかった」「計算したものが実際に装置となることは今までなかったのが本当に測定できるか楽しみだった」「自分で設計した装置を使うので学生実験とは違う新鮮さを感じられた」など、設計すること、設計して作ったものを実際に活用してデータを採取することに対して新鮮さや興味を持てる内容であったことが確認できた。

(2) 3年生を対象に沈降法による粒度分布測定装置の開発を実施し良好な反応が得られたので、次に新生入生を被験者として提案する取組を行った。対象となる学生は入学後すぐの1年生4名のグループである。テーマとしては、高校で既に学習している考えられる中和滴定を自動的に実施できる装置の開発とした。

被験者に対して、ガラス器具を使用した一般的な中和滴定の作業を演示し、さらに被験者にも体験させた。サンプルは約0.02Mの塩酸であり、滴定には0.1Mの水酸化ナトリウム水溶液を用いた。滴定の様子を観察した後に、自動化の方針についてディスカッションを行った。その上で、実際に装置として実現

できるかどうかをアドバイスし、修正を加えて最終的な装置の設計を目指した。

ディスカッションにおいて水酸化ナトリウムを滴下する操作が自動化できないかと尋ねたところ、高所に設置した容器などから液を一滴ずつ落とす仕組みを構築すればよいのではないかという意見が出た。滴下量と時間経過の関係をあらかじめ求めておけば活用できる方法であるが、温度によって粘度が変化するという問題点を、教員側から指摘した。すると、注射器をゆっくりとモーターなどで押すことで、一定流速での滴下が可能ではないかとの意見が出た。このアイデアはシリンジポンプを使えば実現できるため、採用することとした。

滴定の終点を自動的に検出する方式についても検討した。当初は指示薬の色を判断する画像解析装置を活用するアイデアが出た。大がかりで複雑となるなどの欠点を指摘したところ、そもそも pH 値を直接測定すればよいのではないかとの意見が出た。

滴定が終点に達したときに滴下を止める方式についても検討を行った。最終的な結論として、終点においても滴下を止める必要はなく、時間による滴下量と pH の変化を記録しておけば、終点を知ることができることが指摘された。

以上のアイデアをもとに装置の設計について検討を行った。その結果、シリンジポ

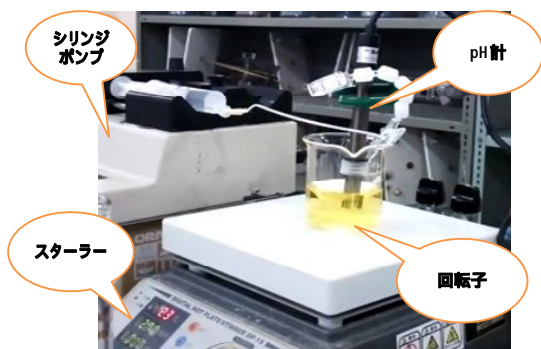


図 2：設計・製作した自動滴定装置

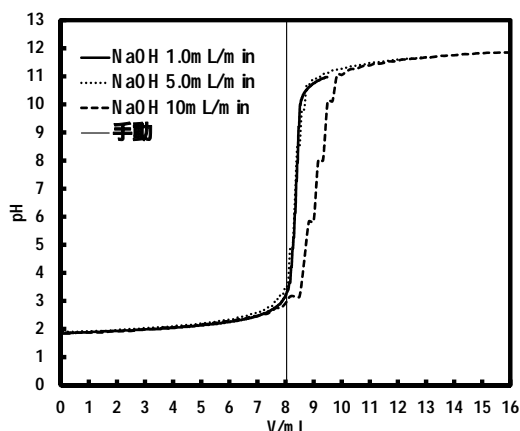


図 3：滴定装置を使って得られた滴定曲線

ンプ、pH センサー、パソコン、スターラーから構成されるシステムの設計に至った(図 2)。

装置を実際に構築して、滴定実験を行った。水酸化ナトリウムの滴下速度を変化させて測定を行った結果の一例を図 3 に示す。滴下速度を早くすると終点に早く到達できる一方で、pH の値がスムーズに変化しなかった。また、終点と考えられる pH=7 に達する滴下量は、滴下速度が大きくなるにつれて増大する傾向が見られた。これらは pH 計の特性によるものである。最終的に得られた濃度を表 1 にまとめる。構築した装置を使った場合、滴下速度を適切な範囲で使用することで、4% の誤差範囲内で手分析結果と一致する結果が得られた。この誤差は、シリンジポンプの送液速度の誤差に起因すると考えられる。

実験終了後に開発した装置のさらなる改善の余地について議論を行った。滴定を開始するまでにいろいろな装置を設定しないといけないので時間が掛かる、水酸化ナトリウムの注入速度が遅いので、滴定に時間が掛かるといった問題点が指摘された。

表 1：製作した自動滴定装置を用いた測定結果と手分析による結果との比較

滴下速度 (mL/min)	滴下量 (mL)	HCl 濃度 (mol/L)
(手分析)	8.04	0.0160
1	8.38	0.0166
5	8.35	0.0166
10	9.09	0.0181

(3) 設計製作した自動滴定装置をさらに改善し、使用しやすくすることを目的としたプロジェクトを題材とした取り組みを行った。上述した 2 つのプロジェクトで取り上げた粒度分布測定装置や、自動滴定装置のように学生が最初から設計、製作できる実験機器の数は多くないと考えられる。また、最初から設計し、装置を製作すると実施に長い時間が掛かる場合が多い。既存の装置の改善、改良に取り組むプロジェクトが実施できれば、1 つの実験器具について実施可能なプログラム数が増え、さらに短時間での実施が可能になると考えられる。

被験者は 1 年生 4 名を新たに募った。ガラス器具を使った手分析による中和滴定、開発した装置を利用した滴定を体験させ、装置の問題点を議論した。以下の点を含む多くの意見が出された。

- 所定量のサンプルを取り分けるのが面倒
- ケーブル類が多いので、すっきりさせたい
- 各装置、センサーを所定の位置にセットするのに時間が掛かる

これらの問題を解決する方法を議論したところ、以下の方針で装置を改善することとなった。

サンプルは量さえ分かっていたら



よく、一定量である必要は無い。このため、一定量を量り取る代わりに、ビーカーに適量のサンプルを入れ、天秤でその重量を測定して記録することとする。

、ケーブル類が多いのは仕方ないとして、装置をより一体型となるように配置する。また、pHメーターのセンサーを固定できるスライド式の装置を開発することとする。

以上の方針に基づいて、設計図を描き、製作を業者に依頼した。また、簡単な工作は被験者らに体験させた。その結果完成した装置を図4に示す。電子天秤の上に自作のスターラーがあり、その上にビーカーを設置している。pHメーターのセンサーは右側の支柱に固定されたアームに取り付けられている。アームを上下させることで、ビーカーの交換を容易に行うことができる。



図4：改良された自動滴定装置

本取組の教育効果を検証するため、プロジェクト終了後にアンケート調査を実施した。改良後の装置については、改良前に比べて使いやすくなったとの回答であった。一方で、まだ多くの問題点が残っているとの意見が多く、より長い時間を掛ければ、改善を続けることができると考えられる。

このプロジェクトに参加したことについての感想としては、「実験中に思いついたことを積極的に取り入れることができた」、「自分の意見を出せたことがよかった」、「今まで実験といっても教科書に載っている順序に従ってただ作業をするという感じでしたが、今回はみんなで話し合っ初めより毎回装置がよくなっているのを感じるようになりました」、「話し合いをしながら実験することによるグループワークを学べた」といった意見がみられた。実験を行うだけでなく、グループで議論しながら創意工夫によって設計・製作を行い、目的を達成するというものづくり教育を化学の分野で実践できたと考えられる。

(4) 以上、化学分野の学生に対して、測定装置の設計・製作・改良を体験させ、ものづく

り教育としての有効性を検証する取組を行った。結果として、本手法はものづくり教育としての有効であると結論される。特に、自分のアイデアを設計に反映させることのおもしろさを伝えることができる点は重要である。入学直後の学生に対して実施することも難しくなく、教員負担も適切であると感じられた。

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 7 件)

上田昭子、外輪健一郎 “自動滴定装置の開発・改良を通じた化学分野におけるものづくり教育” 日本化学会第95春季大会、2015年3月26日、日本大学(千葉県船橋市)

外輪健一郎、上田昭子 “手作り自動滴定装置の改良・改善プロジェクト” 平成26年度大学教育カンファレンス in 徳島、2014年12月26日、徳島大学(徳島県徳島市)

上田昭子、外輪健一郎 “自動滴定装置の開発を通じた化学分野のものづくり教育” 日本化学会第94春季大会、2014年3月28日、名古屋大学(愛知県名古屋市)

外輪健一郎、上田昭子 “新入生による自動滴定装置の設計と製作” 平成25年度大学教育カンファレンス in 徳島、2013年12月26日、徳島大学(徳島県徳島市)

上田昭子、外輪健一郎 “化学系学生を対象としたものづくり教育の試み 粒度分布測定装置の開発” 平成25年度鳥取大学機器・分析技術研究会、2013年9月12日、鳥取大学(鳥取県鳥取市)

上田昭子、外輪健一郎 “粒度分布測定装置の開発を通じた化学分野のものづくり教育” 日本化学会第93春季大会、2013年3月24日、立命館大学(滋賀県草津市)

外輪健一郎、上田昭子 “粒度分布測定装置の開発を通じた化学におけるものづくり教育の探求” 平成24年度大学教育カンファレンス in 徳島、2012年12月26日、徳島大学(徳島県徳島市)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

上田 昭子 (UETA, Shoko)  
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・技術職員  
研究者番号：30597836

### (2) 研究分担者

外輪 健一郎 (SOTOWA, Ken-Ichiro)  
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授  
研究者番号：00336009