

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の探究

総合技術センター 分析・解析技術分野 上田 昭子 (Shoko Ueta)

先進物質材料部門 外輪 健一郎 (Ken-Ichiro Sotowa)

1. はじめに

ものづくり教育は、自由な発想による目的到達やチームワークによるプロジェクト進行などを体験できる。知識・技術を使って新しいものを完成させる喜びを感じることができ、学修に対する興味を引き出す上で極めて有効であると考えられる。座学では得られない多くの利点を有するため、近年ものづくり教育プログラムは全国の工学部で実施されている。

ところが、ものづくり教育の取り組みの多くは機械や電気、情報系の学科において多数見られるものの、化学系学科での事例は限られている。創意工夫による合成実験は非常に有意義であるが、危険を伴う場合が多い。特に初学者は実験器具や試薬の取り扱いを十分に理解していないため、自由な条件で実験を行うことは困難である。

そこで我々は、合成を主体とした化学実験に固執せず、化学分野において活用される各種測定装置を設計・製作し、さらにその装置を用いた分析を行うプロジェクトを計画した。科学研究費補助金の支援を受け、平成24年度は粒度分布測定装置の開発を実施した。必要な知識を学習した3年生を対象とし、装置の設計・製作・装置を用いた粒度分布測定と評価といった一連の作業を体験してもらい、アンケートにより良好な結果を得ている。平成25・26年度は新入生を対象とし、中和滴定を自動的に実施できる装置の開発を通じたものづくりプロジェクトを実施したので報告する。

2. 滴定操作

良く知られているように、滴定とは所定量のサンプル溶液に酸またはアルカリを滴下し、水素イオン濃度、即ち pH の変化を検出してサンプル中のイオン濃度を測定する分析手法である。化学において最も基本的な分析手法

の一つであり、中学や高校で学修している学生も多い。原理も単純であり、新入生はその内容を十分理解していると考えられ、本プロジェクトのテーマとして相応しいと考えた。

3. 取り組み内容

化学応用工学科では、1年生を対象に必修科目である化学応用工学基礎が開講されている。これは創成科目に相当し、各教員に3~4名の学生が振り分けられ、自由に題材を選定して調査・研究を実施するという内容である。そこで、平成25・26年度各々において外輪が担当することとなった学生4名を対象とし、この授業での取り組みとして自動滴定装置の設計・製作とその評価を行った。

3-1. 自動滴定装置の開発（平成25年度）

3-1-1. 手分析の演示と自動化に向けたディスカッション

まず、学生に対して従来のガラス器具と pH 指示薬を用いた手分析による滴定作業を演示した。サンプルは約 0.02 M の HCl 水溶液であり、滴定には 0.1 M の NaOH 水溶液を使用した。その後、自動化の方針についてディスカッションを行ったところ、多くの意見が出された（図1）。

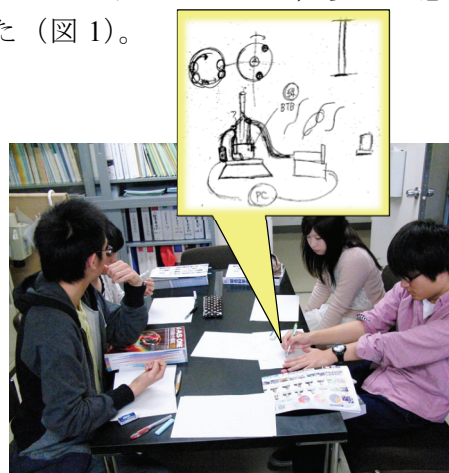


図1 ディスカッションの様子

下記に学生から出された意見の一部を示す。

- ・攪拌：スターラーを使用する。
- ・液の滴下：ポンプでゆっくりと送る，高所の容器から1滴ずつ落とす，注射器に入れて押す。
- ・終点の検出：ビデオで色を撮影・解析する，pHメーターを使う。
- ・終点での滴下停止：PCを使用する，停止しない（滴下量とpHの関係が測定できれば問題ない）。

3-1-2. 装置の設計・製作

出し合ったアイデアと教員やTAの助言のもとに，図2に示すようなスターラー，シリンジポンプ，pHメーター，PCから成るシステムを構築した。

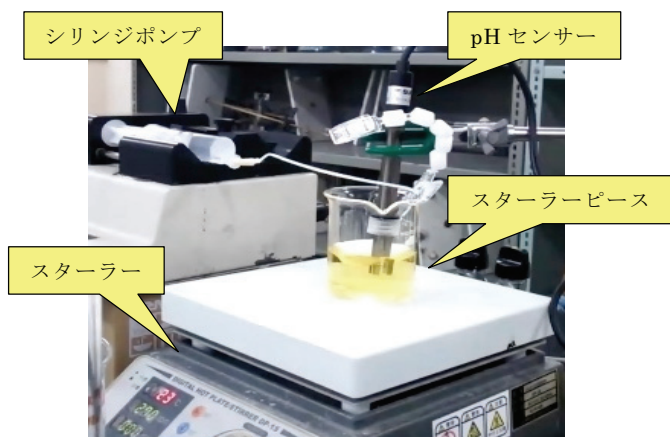


図2 作製した自動滴定装置（平成25年度）

3-1-3. 測定実験と結果考察

NaOH水溶液の滴下速度を変化（1.0–10 ml/min）させて実験を実施したところ（図3），滴下速度が大きくなるにつれ誤差が大きくなり，pH 7.0に達する滴下量が増大する傾向が見られた。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，誤差3.8%以内で手分析と一致することが明らかになった。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ものと考えられる。

実験終了後，装置のさらなる改善の余地について議論した。滴定を開始するまでの設定が煩わしい，滴定時間が長い等の問題点が指摘された。

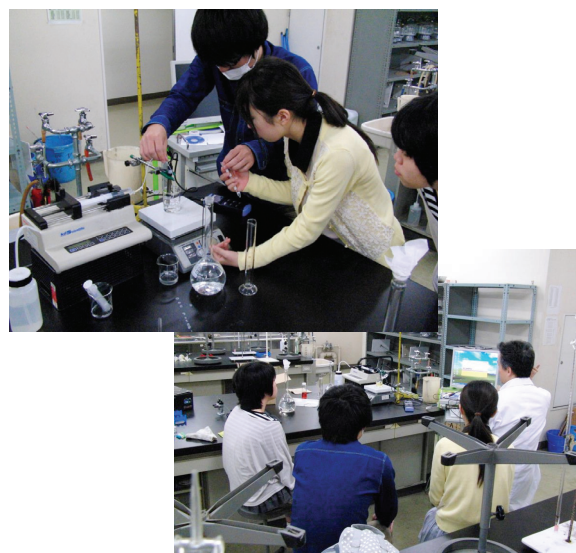


図3 測定実験の様子

3-2. 自動滴定装置の改良（平成26年度）

3-2-1. 前年度に作製した装置の問題点に関するディスカッション

手分析による滴定作業を演示した後，前年度に作製した自動滴定装置を用いた滴定実験を実施した。問題点について議論したところ，以下に示すような意見が出された。

- ・所定量のサンプル（HCl水溶液）を計量するのが面倒（計量を自動化）。
- ・各装置・センサーを所定の位置にセットするのに時間がかかる（操作の単純化）。

3-2-2. 装置の設計・製作

上記の問題を解決するため，設計の際に下記の案が取り入れられることとなった。

- ・ビーカーに適量のサンプルを加え，電子天秤で重量を測定・記録する。同様の方法で，滴下したNaOH水溶液の量も確認する。
- ・装置をより一体的になるよう配置し，pHメーターのセンサーを固定できるスライド式装置を作製する。

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，簡単な工作は学生に体験させた。電子天秤の上に自作のスターラーを載せ，さらにその上にビーカーを設置した。図4に示すように，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た。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。

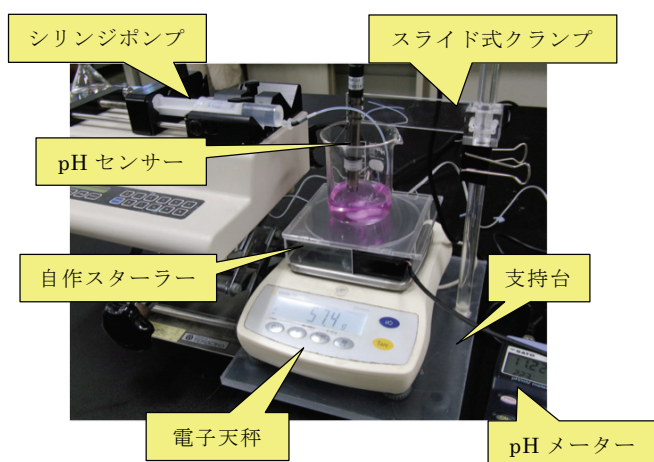


図 4 作製した自動滴定装置（平成 26 年度）

4. アンケートによる教育効果の評価

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ところ、下記のコメントが寄せられた。

- ・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良かった。
- ・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していましたが、今回はみんなで話し合っただけで毎回装置が良くなっているのを感じることができました。
- ・話し合いをしながら実験をすることによりグループワークを体験できた。

実験を行うだけではなく、グループで議論しながら課題を見出し、自らそれらを解決して目的を達成するという一連の作業が体験できるため、本取組は化学の分野におけるものづくり教育として効果的であったと考えられる。

また、平成 26 年度の参加学生からは、改良前に比べて使いやすくなったが、まだ多くの問題点が残っているとの意見も多く、より長期的に取り組むことで改善を続けることができると考えられる。

5. まとめ

平成 24 年度の粒度分布測定装置の開発、平成 25・26 年度の自動滴定装置の開発及び改良を通じ、分析装置開発の取り組みは化学分野におけるものづくり教育の教材として有用であると考えられた。今後も同様のプロジェクトを進めるとともに、ものづくり教育の新しい題材を開拓していきたい。さらに、指導に

要するマンパワーやコストを考慮し、より多くの学生が参加できる仕組みを検討していく予定である。

謝辞

本研究は科学研究費挑戦的萌芽研究(24650559)の補助を受けて行われました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- [1] 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 春季年会, 2013 年 3 月
- [2] 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 春季年会, 2014 年 3 月
- [3] 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