

授業などへのマイクロスケール実験の導入と有効性の検討

Study of Effectivity of Microscale Experiments for the Chemical Education

内田 修司・羽切 正英・佐藤 潤*・林 真*・押手 茂克

福島工業高等専門学校物質工学科

*福島工業高等専門学校モノづくり教育研究支援センター

Shuji UCHIDA, Masahide HAGIRI, Jun SATO*, Makoto HAYASHI* and Shigekazu OSHITE

Fukushima National College of Technology, Department of Chemistry and Biochemistry.

* Fukushima National College of Technology, Manufacturing Support Center for Education and Research.

(2009年9月29日受理)

Microscale chemistry has attracted considerable attention as effective educational method and has been disseminated worldwide. It has many merits: Amount of chemicals is reduced; waste is reduced; resources and energy are saved. In other words, microscale chemistry is environmentally benign. In many universities and colleges, teaching materials and equipments for microscale chemistry have been actively investigated. The present authors have also introduced this method to the laboratory work and experimental demonstration for primary chemistry classes and improved teaching materials and equipments.

Key words: microscale chemistry, MSC, microscale chemical experiment, chemical education

1. はじめに

マイクロスケール実験は、環境に配慮した化学実験法としてアメリカやヨーロッパの初等中等教育の中に取り入れられ教育法や実践が報告されている^{1),2)}。また、化学実験の導入コストや人的資源の要求レベルを下げることができるため、中国やタイ、メキシコなどで実践されている³⁾。日本におけるマイクロスケール実験は、荻野らの仙台地区の高校化学での実施⁴⁾、東北大学における基礎自然科学実験⁵⁾、東京大学の基礎化学実験、放送大学における化学実験などの実施例³⁾が報告されているが、その広がりには遅いと言える。

マイクロスケール実験法の特徴として、従来の実験器具より容量、サイズを1/5~1/20に小さくしていることである。このため、①使用する試薬量を節減できる。(省資源、省エネルギー) ②実験廃棄物量を削減できる。③事故の発生確率を小さくできる。④実験時間が短縮できる。加えて、⑤小・中学校では、専門外の教員でも指導・実施ができる。⑥理科実験室でなく、通常の教室でも実施が可能である。さらに、⑦実験手順の明確化が行える、⑧グループ実験から1~2人の個人実験が可能となるため、学習者により大きな達成感を与えられる。などがあげられる。

本校における化学は、工学系4学科に一般教科、共通必修科目として5単位(1年3単位、2年2単位)を設定して教育しているが、これまで実施してきた授業では、知識の導入と定着のために座学が中心となり、予定していた実験も事前説明や安全管理など付帯的な時間を必要とするため、現象の説明で済ませてしまう場合も多かった。あるいは、演示実験として見せて終わらせてしまうこともあったため、物質の性質や化学的な変化を体感する機会を失い、実践型教育を重視する高専の教育だけでなく、物質と向き合う化学という学問にとって望ましい状況ではなかった。さらに、教職員の仕事量の増加が、実験とその準備、後片づけ時間の確保が難しいなどの問題が表面化し、授業を止めずにより教育的効果が高い実験を行う必要が出てきた。具体的には、化学の学習で最も重要な物質概念を定着させるためには、実験による経験が必要であるため、I 実験時間の短縮と準備作業の軽減によりできるだけ多くの実験ができるようにすること II 学習者がひとりで実施できる実験を設定し、責任感と問題解決能力を育めること III 実験マニュアルに沿った実験だけでなく、学習者の観察や考察による工夫の可能性を含むこと IV グループ実験を1~2人による個人実験で実施

できることなどが挙げられる。これらを満足する実験方法がマイクロスケール実験であり、著者らは本校の一般化学実験のマイクロスケール化を検討し、実施状況、導入の効果について報告する。

2. 学内での導入状況

2.1 教室での実施

筆者らは、工学系1・2年生で履修する化学の実験の一部にマイクロスケール実験法を取り入れた。高校課程での化学実験のマイクロスケール化には、荻野らが多数報告しており、それらを参考に実験器具を準備してマイクロスケール実験を実施した。従来であれば、実験室への移動や演示実験のための準備・片付けに2時間を必要としていたが、マイクロスケール化すると、準備・片付け時間の短縮、実験方法の単純化ができ、結果をより明確に示すことができた。さらに実験時間の短縮、失敗の防止にも効果を確認できた。

高等学校化学の化学Iの単元「酸化還元反応」に含まれる内容として「水の電気分解」がある。この単元で行われるのが、「爆鳴気」である。この実験では水の電気分解によって、水素と酸素を発生させ、それらの気体を混合して点火、燃焼させる。この燃焼が爆発的に進行し比較的大きな音が発生するので、演示実験として行われることが多い。しかし、爆発を伴う気体の燃焼実験であるため、過剰な気体の発生による器具の破損や実験者のケガなどが毎年報告されている危険な実験である。

これを荻野らの報告に従いマイクロスケール実験⁶⁾化した。実験には Fig.1 に示すマルチプレート⁷⁾を反応容器として用い、Fig.2 のように電気分解槽には体積3mL の採血用チューブ、電極として2本のマチ針を用いた。実験では硫酸ナトリウム水溶液を電解液、電源には9V電池を用いて電気分解を行った。電極で発生した気体は、洗剤水溶液をバブリングさせ泡として捕集した。実験者は泡の近くに点火して水素と酸素による化学反応を起こし爆鳴を聞くことができる。反応量、捕集量ともサイズを小さくすることで、混合気体の発生量と過剰な気体の蓄積も抑制できるため、教室でも行える実験として有効であることがわかった。

2.2 実験室での実施

化学Iの単元「酸と塩基」には「酸と塩基による中

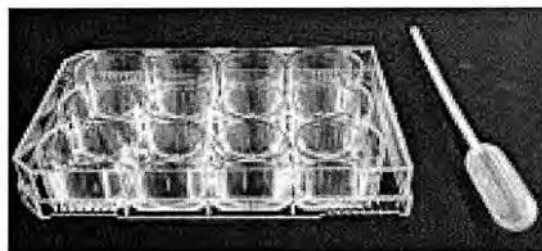


Fig.1 Reaction plate and pipette

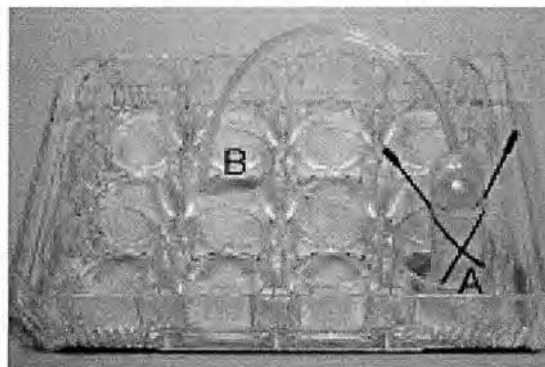


Fig.2 Apparatus of H_2/O_2 explosive gas in the electrolytic cell of water A: electrolytic cell B: explosive gas

和」の説明があり、実験では中和滴定を行っている。この実験を実施するためには、実験の内容説明、手順の確認を行い、酸標準溶液の調整と標定、酸と塩基の中和実験、データの確認と整理が必要である。実験前にはビュレットの準備が必要であり、実験者にはビュレット、ホールピペットなどガラス器具の取り扱いなどの注意も必要で実験前に多くの時間と手間が必要で、担当する教員・技術職員には負担が大きい実験である。化学を専門としない学習者にとっても、量的関係の理解の前に操作が容易でない特殊なガラス器具を使うハードルの高い実験であった。荻野らは一定濃度の水酸化ナトリウム水溶液と塩酸水溶液の中和反応を、滴瓶からの“滴数”を体積として数え、指示薬の色変化で溶液の性質を確認する視覚的に理解できる実験にして、マイクロスケール化⁷⁾を報告している。この方法を採用し、マイクロプレートを使うことで、中和に至るまでのpHの変化を指示薬の色の変化で追跡することも簡単にできた。

2.3 補講での実施

欠席や実験が失敗してデータが得られなかった学生は、放課後や長期休暇を利用して実験の補講を行っている。ここでも、実験をマイクロスケール化すること

で非常に効率よく追実験や再実験を行うことができた。また、実験に関心を示す学生に発展的な実験として取り組ませる場合にも実験をマイクロスケール化することで、より安全で効果的に実施できた。平成21年の春休みに工学系4学科の1年生を対象に、「酸化還元」の単元内の実験「金属樹」、「電気分解(爆鳴気)」、「電池」の3種類の実験を行った。実験の様子をFig.3とFig.4に示した。「金属樹」の実験は、金属のイオン化傾向の差を金属の溶解と析出という現象を確認する実験である。イオン化傾向の小さい金属イオンの水溶液にイオン化傾向が大きい金属を入れると、金属が溶解し、溶液中の金属イオンが金属として析出する様子を観察することができる。この実験をビーカーや試験管を使って行う従来の実験方法では、金属板の準備、析出した金属や廃液の処理などの手間、廃棄物の削減などの制限などからグループで行う実験として実施していた。しかし、マルチプレートを用いたマイクロスケール実験化することで、1名または2名の個人実験として実施することができた。さらに、金属塩の水溶液が少量でも、金属樹の生成が確認できること、金属と溶液の組み合わせによって金属や水溶液の性質に関する情報が得られ、現象の説明を考えるために実験ノートの記録を見比べて、イオン化傾向と金属の性質について考え、イオン化系列の確認ができ、参加者は得られた結果とその説明に納得して、補講実験会を終了することができた。

3. 実施状況の分析

実験時間の短縮化、準備、後片付けの短時間化、実験の事前指導の簡略化のために、授業中の演示実験や学生実験、補習などにマイクロスケール実験を導入した。マイクロスケール化のメリットに加え

- ・実験結果が視覚的に理解しやすい。
- ・実験のスケールは小さくても個人の体験型であるため、実験の理解度が高い。

といったメリットがあった。特に、視覚的で理解しやすい実験は、化学を専門としない学科の学生に有効であると考えられた。マイクロスケール実験は通常の講義での演示実験と学生実験だけでなく、体験入学などでも実施しているが、これまで事故の発生はないことから、安全性も高い実験方法であると言える。



Fig. 3 A view of tutoring experiment



Fig.4 A view of experiment at admissions experience

4. 地域での実施

4.1 小中学校教員向けの公開講座の実施

マイクロスケール実験には上述したメリットは理科教育に有効であると考え、外部に対しての技術と情報の共有を図る目的で、いわき市内の小中学校教員を対象とした公開講座「マイクロスケール実験で確かめよう」を実施した。

講座では、典型的なマイクロスケール実験の紹介(解説)と実践として、荻野らが報告した酸塩基の性質を調べる⁶⁾、中和反応⁶⁾、水の電気分解と爆鳴気⁷⁾の実験を行った。酸塩基の性質を調べる実験では、ムラサキキャベツから指示薬となる成分を抽出し、中学校で用いられる指示薬(フェノールフタレイン溶液、BTB 溶液)との色の変化の比較を行った。Fig.5は、講習会で実施した溶液調整の様子である。講習会では、身近にある水溶液の性質を試験管に入れて、指示薬による色の



Fig.5 A view of public lecture



Fig.6 Example of experiment using template

比較を行うのではなく、マイクロプレートを用いて確認した。従来型の実験では、比色は試験管やビーカーを用いて行うため、準備する試験管の数は、比較色×グループ数となり事前準備や事後の片づけなどに時間を要するだけでなく、ガラス器具の破損や溶液の取扱など安全面で考慮する点が多くなる、しかし、この実験をマイクロスケール化⁴⁾すると、24本の試験管を必要とする比色操作も1枚のマイクロプレート (Fig.6)で行えるため、使用器具を削減し、破損の可能性も低い状態で実験できた。また、使用する酸と塩基の使用量も削減でき、安全性と省資源性を実験に反映させることができた。

マイクロプレートは透明な樹脂製容器であるため、プレートの下にそれぞれの穴(ウェル)に滴下する液の量を書いたプリントを準備することで、溶液を入れる場所をはっきり示すことができる。実験中に指導者が行う注意や指示が学習者には伝わりにくい場合があり、事故や怪我となってしまうことが、試薬の置き場所を明記した資料を準備することで実験時の失敗や事故の発生確率を下げ、必要な結果を得られるように導くことができる。「水の電気分解」実験では、市販のシリンジを使った装置を製作してもらい、実験を行った。通常は、ガラス製のH管を用いて行うが、マイクロスケール実験³⁾ではシリンジを用いることでマイクロスケール化と安全性を確保している (Fig.7)。この装置では液量が少なくなると、溶液に電流が流れなくなり、反応が停止する。また、シリンジ中の気体の発生量を把握することができる。さらに燃焼実験を行う場合も、取り付けられているコックを操作すれば、簡単に発生した



Fig.7 Apparatus of H_2/O_2 explosive gas in the electrolytic cell of water

気体を取り出すことができる。受講者から、この装置は使いやすかったとの意見が聞かれたが、マイクロプレートなどを器具の準備に費用的な問題があり、小中学校独自での実施には問題が多いとの指摘があった。

4.2 マイクロスケール実験キット活用システムの構築⁹⁾

費用的な問題でマイクロスケール実験を導入できないという切実な担当者からの問題提起に対して、筆者らはいわき市総合教育センターと連携して、マイクロプレート等のマイクロスケール実験セットを介して、地域の小中学校と高専間で情報などを共有できるシステムの構築を提案している。

このシステムは、本校がいわき市総合教育センターと協力して小中学校で実施する実験のマイクロスケール化とキット化を行い、いわき市総合教育センターを経由して、利用を希望する学校に貸し出すというものである。使用した学校、教員からのフィードバックを本校スタッフは実験キットの構成やテキストの内容に

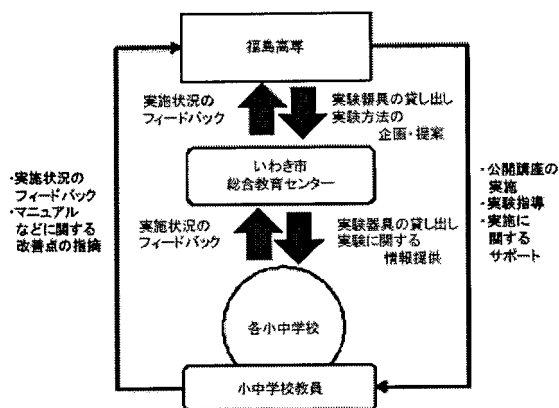


Fig.8 System Overview of Microscale Experiments partnership in Iwaki⁹⁾.

反映させ、講習会の実施やテキストの改訂など技術的な支援を行う計画である。

地域との連携、地域との連携を重視する高専では小中学校に対する教育支援の1つとして、教員・技術職員がその学校に出向いて授業・実験を行う「出前授業」が行われている。特別な行事としてインパクトは大きい、平日の実施が基本となるため、担当する教員・技術職員の負担は大きくなる。しかし、提案した実験キットの活用システムでは、キットを使った授業は小中学校の教諭が行うため、本校スタッフは現地での指導ではなく技術的なサポートを校内で行うことができる。このようなシステムの運用は継続的な指導者の支援、学習者の理解の促進、両者に安全に実験できる環境の提供を可能にするものである。キット化により実験による教育効果が確実に得られ、各自がそれぞれのペースで参加できるシステムの運用は、地域の小中学校に対する教育支援と考えている。また、実施校から実験キットの使用状況（アンケートや感想）をもとに、講習会の開催やメーリングリストなどによる情報交換で、マニュアルや実験キットの改善、新たな実験の企画・提案などをより自然な形で実施できるものと考えている。

5. まとめ

今回、マイクロスケール実験を一般化学の授業の演示実験や学生実験等に導入した。実験をマイクロスケール化すると実験時間、準備時間等の短縮や廃液発生量の削減ができた。さらに実験操作を単純化して視覚的

にも理解しやすい実験とすることができ、学生の理解や関心を高めることができた、また、実験方法の改良のための情報を得ることができた。実験のマイクロスケール化は教育方法としても優れている方法であることが確認できた。

今後は、学習者を対象としたアンケートと理解度調査、授業に組み込む実験のマイクロスケール化と実施方法などFD的な評価も加え一般化学実験のマイクロスケール実験化を進める計画である。

この実験方法は、地域の小中学校でも実施可能なものであるため、小中学校教諭を対象とした公開講座の実施、いわき市総合教育センターと連携した実験キットの開発など、教育面で地域支援にも有効なものであることが考えられる。

謝辞

公開講座の開催や実験キットの開発などに、いわき市総合教育センター 指導主事 小泉俊夫氏からご助言とご支援を頂きました。深く感謝いたします。

参考文献

- 1) J. Skinner: Microscale Chemistry, Royal Society of Chemistry (1995).
- 2) M. M. Singh, R. M. Pike, Z. Szafran: Microscale & Selected Microscale Experiments for General & Advanced General Chemistry, Wiley (1995).
- 3) H. Ogino, K. Ogino and S. Inomata: J. Univ. Air, 23, 89 (2005).
- 4) 荻野和子: 化学と教育, 46, 516 (1998).
- 5) 小俣幹二, 甲 國信: 化学と教育, 53, 614 (2005).
- 6) 荻野和子, 化学と教育, 55, 82 (2007)
- 7) 荻野和子, 田嶋智子, 東海林恵子, 金和宏: 化学と教育, 49, 348 (2001).
- 8) 荻野和子, 化学と教育, 49, 110 (2001).
- 9) 佐藤潤, 羽切正英, 内田修司, 林 真, 押手茂克: 高専教育(投稿中)