

バイアル瓶を用いた化学実験の提案

菅原一晴*

Proposition of chemical experiments using vial container†

Kazuharu Sugawara*

We proposed experiments using vial containers to observe a solid - liquid reaction and an oxidation-reduction reaction. Because the vial container of various volumes was commercially available, these experiments were performed in the container of 20 ml. The first content was that change of color of methylene blue was observed in lemon tea and vegetable juice. When the sample and methylene blue were mixed in an alkali solution, the color of the solution with the tea was changed from orange to blackish brown. The change of the color in the solution was repeated 10 times in 10 s at least. Next, the experiment that sodium acetate trihydrate was supersaturated was carried out in vial container. Since the vial container with cap was convenient to the operation of heating-cooling, the repetitive task was rapidly achieved. Therefore, this system was suitable for observation of the solution crystallization. The merits of the containers were a low cost and easily handled. Consequently, the vial containers could be applied for the chemical experiments.

Key words : Vial container, Methylene blue, Sodium acetate trihydrate

1 はじめに

簡便で迅速に、しかも安全に実験を行うことは広く求められることであるが、学校現場の実験等においても特に重要視されるポイントである。最近では、実験時間の短縮、試薬の少量化による安全性の向上の観点から細胞培養プレートを用いたマイクロスケール実験や実験器具を小型化した実験が提案されている。小中学校や、高等学校で様々な実験が実践されてきた。例えば、芝原らはダニエル電池と鉛蓄電池、ムラサキキャベツの色素や pH および金属陽イオンの定性分析にプレートを適用している¹⁾。また、西出は酸・塩基の学習への応用として炭酸水素ナトリウム、炭酸ナトリウム、硫酸水素ナトリウムなどの pH を BTB やフェノールフタレインなどの pH 指示薬を加え色の变化を観察する実験が行っている²⁾。中川はイオン化傾向、ルシャトリエの法則を理解するためにマイクロスケール実験を展開してきた³⁾。試験管を用いた実験としては、ベンゼンのスルホン化における実験がある⁴⁾。一方、多くの大学や研究所においてはバイアル瓶が通常の実験で用いられることも多い。その用途は多様であるが、溶液や固体試料の保存に使用されることが一般的である。本研究では、このバイアル瓶を高等学校の化学の実験に用いることを模索した。高等学校「化学基礎」の学習指導要領(3)物質の変化イ化学反応(イ)酸化と還元では「酸化と還元が電子の授受に

よること。また、酸化還元反応と日常生活や社会とのかかわりについて理解すること。」とある⁵⁾。その項に対応して、溶液中に溶けたメチレンブルーの酸化還元反応に基づいた実験を実施した。中学校では酸化と還元が酸素の出入りに関与することをすでに学習している。さらに高等学校では水素の授受へと適用範囲を拡大することがもりこまれている。メチレンブルーの酸化還元には水素の出入りに基づいており興味深い教材となる。

加えて、「化学」についての指導要領では、(1)物質の状態と平衡ア物質の状態とその変化(ウ)固体の構造で「結晶格子の概念及び結晶の構造を理解すること。」があり、結晶格子の子概念として構成粒子の配列を理解する。イ溶液と平衡(ア)では溶解の仕組みと溶解の仕組みを学ぶ。溶解の仕組みにおいては固体の溶解度を理解させ、飽和溶液での溶解平衡や過飽和についても触れることが必要とされている。それらの事柄の理解を深める教材として、酢酸ナトリウム三水和物を選択した。具体的には溶液中での過飽和状態を作製し、その状態がずれ液体が固体になる状態を観察する実験を企画した。実験容器には蓋つきバイアル瓶は利用することとした。バイアル瓶はビーカーやフラスコと比較して低コストであり、容量が数 mL から数十 mL 程度の蓋つき瓶が市販されている。それゆえ、このバイアル瓶は、学校現場での実験にもふさわしい器具であると考えられる。その可能性を

† 原稿受理 平成29年2月24日 Received February 24, 2017

* 教職センター(Teaching Profession Center)

実践的に検討し、汎用性についても評価した。

2 実験

2・1 メチレンブルーの酸化還元反応の観察

メチレンブルーは酸化還元反応を示す有機化合物として知られ、電子の移動のマーカースとして優れている⁶⁾。食品衛生法では、食品・添加物等に使用される器具及び容器包装におけるピンホール試験にメチレンブルーを用いる方法が利用されている⁷⁾。細胞、組織の生体染色や殺菌剤として用いられることもある。このメチレンブルーをアルカリ性の試料溶液に加え、酸化還元を観察する実験を提案した。

[実験内容] アルカリ性に調整した試料溶液にメチレンブルーを加えると無色透明溶液中では青色(酸化型)を示すが、還元剤が存在すると無色のロイコメチレンブルー(還元型)となる。容器を振ることで空気中の酸素がロイコメチレンブルーを酸化してメチレンブルーに戻る。この酸化還元反応が一定回数繰り返され、その後は終息する。

[使用器具] 20 mL バイアル瓶(蓋つき) 3 個、マイクロピペット 10-100 μ L 用 1 本、チップ 10-100 μ L 用 3 個、メスシリンダー (10 mL) 1 本、葉さじ 1 本、5 mL バイアル瓶(蓋つき) 1 本、葉包紙

[試薬] 0.004 g/(1 mL エチルアルコール/3 mL 水)メチレンブルー溶液、水、水酸化ナトリウム

[試料] スポーツドリンク、レモンティー、パイナップルジュース

[手順] あらかじめバイアル瓶にメスシリンダーを使って水を入れマジックで 5 mL ごとに印をつけておく。バイアル瓶に 20 μ L メチレンブルー、5 mL 試料と 5 mL 水を入れ、葉包紙上に水酸化ナトリウムを試薬瓶から取り出し、ピンセットで 0.1 g をつかみバイアル瓶に加え、蓋をして攪拌しその様子を観察する。

2・2 酢酸ナトリウム三水和物の過飽和に基づく結晶化

酢酸ナトリウム三水和物においては、過飽和の状態からの結晶過程⁸⁾や凝固する際の温度変化に関する研究⁹⁾が報告されている。過飽和からの結晶化は短時間で起こり高等学校での化学実験として注目されるものである。その様子を簡便に観察するために以下の実験系を設計した。

[実験内容] 酢酸ナトリウム三水和物を常温で溶解度をこえる量を加えて、加熱することで溶解する。その溶液を冷却し過飽和状態にさせ酢酸ナトリウム三水和物の小片を添加することで結晶化させる。その特長は、バイアル瓶を用い、標線をあらかじめ付けておき水を入れて酢酸ナトリウム三水和物を添加し、ホットプレートで加熱し溫和に溶解した後、冷却する点である。

[使用器具] 20 mL バイアル瓶(蓋つき) 1 個、メスシリンダー (10 mL) 1 本、葉さじ 1 本、ホットプレート 1 台、葉包紙、ピーカー(50 mL) 1 個、葉さじ 1 本 天秤 1 台

[試薬] 酢酸ナトリウム三水和物、水

[手順] 酢酸ナトリウム三水和物 12 g をバイアル瓶に取り、水 5 mL を加えてホットプレート上(60°C程度)で完全に溶かす。溶けた酢酸ナトリウム溶液を冷水の入ったピーカーに付けて室温まで冷やしたら、酢酸ナトリウム三水和物(小片)を加え、その様子を見る。再度、加熱冷却を繰り返す、液体と固体との変化を観察する。

3 結果と考察

3・1 メチレンブルーの酸化還元反応における試料の応答性

バイアル瓶を用いた実験では、試料量用および水用の標線を 2 本あらかじめ付けてあるので、1 本目に線に合わせて試料を入れ、2 本目まで水を入れる。さらに、水酸化ナトリウムの固体 1 粒をとメチレンブルーを添加するので簡便で迅速な手法となる(Fig. 1)。同様な実験を行うプロトコルとしては、数十 mL 水とグルコース数 g を三角フラスコに入れ、数 mol/L 水酸化ナトリウム 数 mL と 0.05% メチレンブルー 数 mL をフラスコに加え、蓋をして振り混ぜるといったものがある¹⁰⁾。容量的には数分の 1 程度で本実験をプランニングしている。

1) スポーツドリンク:この試料では、メチレンブルーの青色が明確に表れ、数分で無色になった。加熱していないため上記の時間が必要であった。試料には、アスコルビン酸とグルコースが含まれているため、これらの成分は添加していない。

2) パイナップルジュース:試料溶液の色が黄色をしており、メチレンブルー共存下では黄緑色を呈した。1 分程度で還元反応が進み溶液の色は試料独自の色に変化した。この試料ではアスコルビン酸の効果が大きいものである。溶液を激しく振ると溶存酸素の影響で色の変化が認められた。

3) レモンティー:この試料はメチレンブルーを入れた瞬間に試料単独の溶液の色(オレンジ色)を示し、バイアル瓶を振とうさせることで溶液の色は黒褐色に変化した。振とうを中止すると 10 秒以内に試料独自の色に戻った。そのレスポンスは 3 つの試料の中で最も速く、その成分を考慮すると溶液には、グルコース、アスコルビン酸、ポリフェノール(カテキン、テアフラビン、テアルビジン

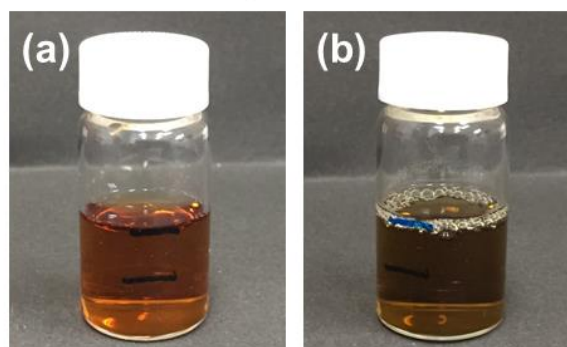


Fig. 1 Lemon tea alkaline solution with methylene blue.

(a) Before shaking, (b) After shaking.

等)が含まれており還元雰囲気下にある。そのため、ロイコメチレンブルーのかたちを維持することとなり、興味深い結果となった。振とうと静置の繰り返し実験は少なくとも 10 回程度は可能であった。カテキンやエピカテキンを含む茶類の抗酸化能がクメンヒドロペルオキシド/ヘモグロビン・メチレンブルー法により測定できることからそのインタラクションが強いものである¹¹⁾。

3・2 酢酸ナトリウムに固液化の観察

本実験ではメチレンブルーの器具と同様にバイアル瓶に酢酸ナトリウム三水和物を加え、室温まで冷やした。山本は、大型試験管に同量の酢酸ナトリウム三水和物を入れバーナーで加熱し溶解する系を考案している¹²⁾。溶液は三水和物としては過飽和状態になっているが、無水物としては、飽和状態になっていない。このとき、酢酸ナトリウム三水和物の結晶の薄片の添加により酢酸ナトリウム溶液の過飽和状態を保つことができなくなり結晶が析出する(Fig. 2)。この手法のメリットは、コンパクトであり専用の蓋がついているため溶液を容易にふるることができる。加熱時には蓋を外し、冷却時には蓋を閉めることができその取扱いが容易である。また、水道水を用いてバイアル瓶を直接冷却できる。倒しても溶液がこぼれる可能性は小さい。また、ホットプレートを用いるため通常の教室で実践できる実験となる。

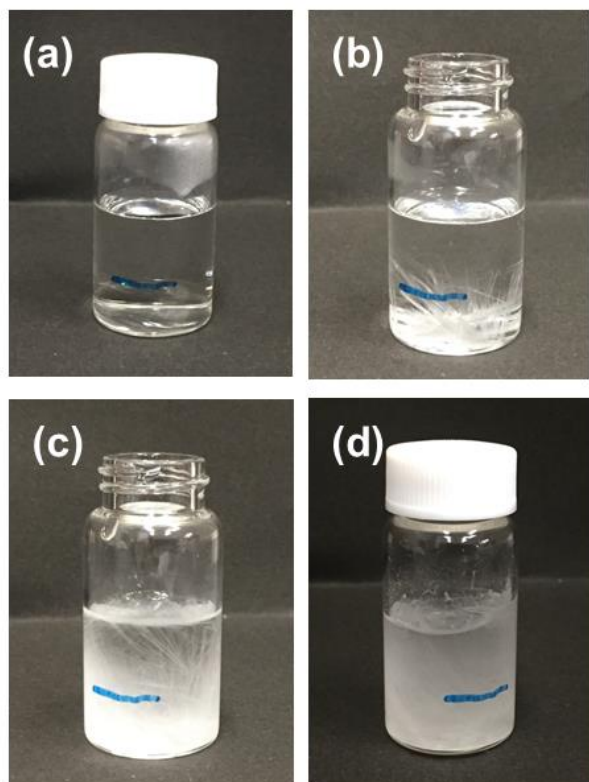


Fig. 2 Experiment of supersaturated sodium acetate trihydrate solution.

(a) Before sodium acetate trihydrate addition to solution, (b) Immediately after addition, (c) Crystal

growth, (d) Solidification.

3・3 バイアル瓶についてのアンケート

これら実験について本学教職課程履修者 10 名にバイアル瓶についてのアンケートを実施した。以下に質問内容と選択肢、該当数、コメントを記載した。

1) 実験器具としてバイアル瓶を知っていたか。

a 知っていた 1 人 b. 知らなかった 9 人

バイアル瓶については大学の学生実習等で使用することもあるが、バイアル瓶を多くの学生は意識して使ったことは少ないようである。実習においてガラス製およびプラスチック製のビーカー、フラスコ、チューブを用いることが多いこともその要因の一つであることが予期される。

2) バイアル瓶を今回実験で使用したが、有用であると思うか。

a 非常に有用 2 人 b. 有用 7 人 c. 普通 1 人

d. あまり必要ない 0 人 e. 不要 0 人

非常に有用、有用と答えた学生は、9 名おり、上記に実施したメチレンブルーの酸化還元の実験、酢酸ナトリウムの過飽和の実験では溶液を振とうする操作や加熱冷却する際のバイアル瓶の利便性が理解されたことによると推測される。

3) 市販されている 10 mL のビーカーに比較してコストは 1/5—1/4 である。その機能から判断してコストエフェクティブをどのように考えるか。

a. 非常に優れている 3 人 b. 優れている 5 人

c. 妥当 2 人 d. やや劣る 0 人 f. 劣る 0 人

g. 非常に劣る 0 人

コストエフェクティブが非常に優れている、優れているあるいは妥当答えており、否定的な意見は見られなかった。10 mL のビーカーを 1 個購入すると 300 から 500 円程度かかるが、バイアル瓶であれば 1 本 80 から 100 円となりコスト的に優れている。バイアル瓶はビーカーやフラスコに代わる実験器具として十分に機能する場合も多い。

4) バイアル瓶のメリットを選べ。複数回答可。

他にもあれば、記載せよ。

a. 溶液などの保存 10 件 b. 溶液の攪拌 8 件

c. 溶液を冷却 1 件 d. 溶液を加熱 0 件 e. 固体の保存 6 件 f. 固体⇄液体の観察 5 件 g. 溶液の色

の観察 4 件

h. その他 2 件

・こぼれにくい

・容器が安価なので壊れても影響が少ない

バイアル瓶のメリットを選択肢として 7 つ挙げ、その他として各自意見を募ったところ、溶液の加熱に関して適した容器として用いようとするものはいなかった。50 から 60℃の加熱であれば湯せんやホットプレートによる加熱が可能である場合がある。また、蓋を外すことで、より高温での加熱もできる。しかしながら、バーナーによる直接あるいは金網上でのバイアル瓶の加熱は安全性を考慮すると適していない。溶液の加熱以外の項目に関

して、バイアル瓶を用いた際のメリットがあると考えている。その他としては、容器が安価なので割れたり汚れたりしても影響が少ないという意見があった。

- 5) バイアル瓶のデメリットを選べ。複数回答可。
他にもあれば、記載せよ。
- a. 目盛りがない 7件 b. 注ぎ口がない 7件
 - c. 扱いにくい0件 d. 実験感が薄い0件 e. 安っぽい 0件 f. 形がよくない 0件 g. 倒れやすい3件
 - h. その他 4件
- ・溶液を他の容器に移すとき手につきやすい
 - ・滅菌ができなければ蓋から汚染される可能性がある
 - ・蓋がプラスチックであること
 - ・口が狭くなっていること

どのような点がバイアル瓶のデメリットであるかと質問をしたところ、当然のことではあるが目盛りがない、注ぎ口がないとの回答が多く見られた。バイアル瓶の形状から、先に述べたがメスシリンダー等で目盛りをつける、ピペット等で溶液を他の容器に移すことで避けることのできるデメリットである。

- 6) バイアル瓶はどのような実験に適していると思うか。
- ・液体・固体を攪拌して観察する実験
 - ・少量で多くの薬品を使う実験
 - ・個別(1人1つ)で行わせたい実験(小さくて場所もとらないため扱いやすい)
 - ・実験回数を必要とする実験
 - ・おおむねほとんどの実験
 - ・攪拌が必要な実験
 - ・保存が必要な実験
 - ・少量で変化を観察しやすい実験
 - ・固液変化や色の変化が視覚的にわかりやすい実験
 - ・マイクロスケール実験
 - ・少量であるが多くの試薬を用意しなければならない実験
 - ・それほど精密ではない実験

今回行った実験以外でバイアル瓶が適用できる実験はどのようなものがあるかという質問には、少量といったキーワードが見られマイクロスケール実験を行うために適した容器である。その容量な数百 μL から数十 mLの体積に対応できるバイアル瓶が市販されており実験にあわせた容量を選ぶことができる。さらに、コストや扱いやすさから判断して各自で実験を行うために適した容器であるといえる。また、試料の攪拌や保存にも利用できることは言うまでもない。同時に多数の試料の色の変化を観察することにも用いることも可能である。使用方法を考えることで、多く実験に応用でき汎用性は高いものである。

- 7) バイアル瓶はどのような実験に適していないと思うか。
- ・多量の試薬を必要とする実験
 - ・オートクレーブを必要とする実験(蓋が熱や圧力に耐えられるか)

- ・精度が必要とされる実験
- ・正確さが求められる実験
- ・機器分析などに適応できるか疑問
- ・溶液をバイアル瓶に入れる際にこぼれることがある
- ・容器が高温になる実験
- ・溶液の出し入れが頻繁な実験
- ・瓶に試薬などが吸着しやすい実験
- ・多量に溶液を必要とする実験

バイアル瓶を使用したふさわしくない実験としては、多量の溶液を必要とする実験が挙げられる。高温高压での使用が難しいといった意見や正確さに欠けるといったコメントが多い。溶液の出し入れが頻繁な実験や吸着性の高い試薬の保存等は適していないとの指摘が見られた。バイアル瓶の特性から困難とされる実験も工夫をすれば対応ができる意見もある。

- 8) その他コメントがあれば記載せよ。
- ・今まで教員が演示していた実験を学生自身が行える可能性がある
 - ・大変便利である

その他のコメントとして他の項目でも既出であるが、学生個人でできる実験が増えるのではないかと、便利であるとの感想がある。

4 まとめ

今回は、酸化還元反応に関する実験および固体/液体間の変化を観察する実験にバイアル瓶を適用した。アンケート結果から判断して上記二つの実験に関してはバイアル瓶の利便性は明らかとなった。溶液を攪拌、溶液の色の変化や状態を観察、冷却、試料を保存、転倒した際の溶液の漏れの抑制など多くの利点がある。一方、バイアル瓶の使用は試料の少量化に寄与するとともに個人実験の可能性を大きく広げるものである。さらに、高等学校、中学校での実験に関してもその利便性が高くコスト的にも優れていることからその導入が望まれる。

謝辞

本論文を作成するにあたり協力いただいた前橋工科大学 生物工学科 教職課程 理科指導法 II を平成 28 年度に履修した学生諸氏に厚く感謝する。

参考文献

- 1) 芝原寛泰, 坂東舞, 川本公二, 京都教育大学教育実践研究紀要, 7, 31 (2007).
- 2) 西出雅成, 北海道立理科教育センター研究紀要, 16, 43 (2004).
- 3) 中川徹夫, 神戸女学院大学論, 57, 133 (2010).
- 4) 井上正之, 古賀信吉, 化学と教育, 24, 496 (2006).
- 5) 文部科学省, 2009 年「高等学校学習指導要領解説理数編」実教出版.
- 6) C.M.A. Bretta, G. Inzelt and V. Kertesz, Anal. Chim. Acta 385, 119 (1999).
- 7) 食品, 添加物等の規格基準, 昭和 34 年 12 月 28 日

厚生省告示第 370 号.

- 8) 近藤浩文, 北海道理科教育センター研究紀要, 21, 14 (2009).
- 9) 譽田英弥, 大鉢 忠, 谷口 一郎, 小谷 安夫, 橋本 時雄,
日本結晶成長学会誌, 14, 71 (1987).
- 10) 向井知大, 大場茂, 慶應義塾大学日吉紀要自然科学, 48,
11 (2010).
- 11) 杉田 収, "新潟県立看護大学学長特別研究費研究報告",
新潟県立看護大学 (2003) p. 65.
- 12) 山本進一, 化学と教育, 49, 346 (2001).