

有機化学実験のスモールスケール化IV — サンプル管ビンを反応容器としたアセチレン合成 —

巻本 彰一・藤田 義人*

A Scaling Down of Organic Chemistry Experiment IV
— Acetylene Synthesis Using a Sample Tube Bottle as a Reaction Vessel —

Shoichi MAKIMOTO and Yoshito FUJITA *

Accepted November 13, 2018

抄録：炭化カルシウムと水を反応させることによるアセチレン合成は、高等学校化学の有機化学で学べる炭化水素骨格が合成できる貴重な反応だが、一旦反応を開始すると反応を止めることが難しい欠点があった。また発生した少量の不純物特有の臭気が実験室内にこもるのが問題であった。それゆえ、サンプル管ビンを用いたスモールスケール実験を行い、合成反応の制御と発生した気体の封じ込めを行うことにした。その結果、当初の目的を達したと考えられる実験方法が開発できたので、大学院授業での実施例を紹介する。

索引語：アセチレン合成，スモールスケール，マイクロスケール，高等学校有機化学，サンプル管ビン

Abstract: Acetylene synthesis created by reacting calcium carbide with water is a valuable reaction that can synthesize a hydrocarbon skeleton learned in high school organic chemistry, but a disadvantage is that once the reaction has started, it is difficult to stop. Moreover, it generates an odor peculiar to small amounts of impurities being trapped in the laboratory, which has been a problem. Therefore, a small-scale experiment using a sample tube bottle was carried out; the synthesis reaction was thus controlled and the generated gas was contained. As a result, we have developed an experimental method that is thought to have solved our original problem, so we are introducing it as an example for graduate school classes.

Key Words: acetylene synthesis, small scale, micro scale, high school organic chemistry, sample bottle

* 和歌山県立橋本高等学校

1. はじめに

高等学校学習指導要領解説理科編¹⁾の「化学」の中に「(4) 有機化合物の性質と利用」があり、「ア 有機化合物」、「イ 有機化合物と人間生活」、「ウ 有機化合物の性質と利用に関する探究活動」の3つの内容に分かれている。「ア 有機化合物」で有機化合物の具体的な分類や特徴を学習し、そのあと、学習した化合物について、「イ 有機化合物と人間生活」や「ウ 有機化合物の性質と利用に関する探究活動」で、日常生活のどのような場面で利用されているのかを、必要であれば実験などを通して学習するという流れになっている。そこで「ア 有機化合物」について詳しく見てみると、さらに「(ア) 炭化水素」、「(イ) 官能基をもつ化合物」、「(ウ) 芳香族化合物」の3つの小単元に分かれていて、有機化合物をそれぞれの小単元に沿った分類で学習し、学習指導要領解説には、それぞれの小単元において、「(ア) 炭化水素」では、アルカンやアルケン、アルキンの合成実験や性質を調べる実験など、「(イ) 官能基をもつ化合物」では、アルコールの性質を調べる実験やエステル合成と加水分解に関する実験など、「(ウ) 芳香族化合物」では、フェノール類の性質を調べる実験などというように、具体的にを行うことが望ましい実験も記載されている。

ところで、「どのようにして基本的な炭化水素骨格は形成されるのか」ということを示す実験は、本来ならば有機化学を学ぶ最初の単元において必ず必要となる重要な実験と思われるが、実際には炭化水素自体の反応性の低さのために、炭化水素から分子中の炭素数を増やしたり、減少させたりして同族体を作るような実験は高等学校では難しく（特にアルカン）、酢酸ナトリウムと水酸化ナトリウム混合物を加熱することで得られるメタンの合成のように特定の化合物のみを作る合成法しか記載^{2,4)}されていない。またメタンのようなアルカンを合成した場合は、アルカン自体の反応性の低さゆえ、燃焼させる以外の簡単な検出反応がない。それゆえ、特定の化合物のみを作る合成法ではあるが、炭化カルシウム (CaC_2) と水を反応させて合成するアセチレンについては、この分子が三重結合を持つアルキンであるので、その官能基を用いて検出反応が行えるために、いくつかの教科書で実験例が記載⁵⁻⁹⁾されている。その典型的な実験方法は、小豆大の CaC_2 を穴を開けたアルミ箔で包み、水を張った水槽に沈めて水と反応させ、アセチレンを発生させる方法である。発生したアセチレンは水槽内で試験管を用いて水上置換により捕集しているので、この実験操作はとてもシンプルである。

しかし、この実験方法では、一度 CaC_2 を水に沈めてしまうとその後は連続的にアセチレンが発生するので、必要量捕集した後もアセチレンは発生し続けるという欠点がある。アセチレン自体は無臭であるが、市販されている CaC_2 は不純物を含んでいるので、アセチレンと同時に発生する不純物の臭気が実験室に漂ってしまう。また、捕集に水上置換法を用いているので、大きな水槽が必要となることや実験機が水浸しになることが考えられ、現場で生徒実験を行うのには少しやりづらい実験ではないかと考えられる。また、 CaC_2 の密度は 2.22g/cm^3 であるが、仮に 1g を反応させてアセチレンを合成した場合、計算上は標準状態で約 350mL のアセチレンが合成される。そのため、教科書で扱われている実験では試験管 3 本分のアセチレンを捕集すればよいので、そのために小豆大の CaC_2 を使用するのでは多すぎるのではないかと考える。

そこで、アセチレン合成に関して、実験のスモールスケール化を行うことで試薬量を減少させ、反応の制御と発生した気体を密閉化して安全を確保することを考えた。また実験時間の短縮化を可能にして授業に実験を取り入れ易くなることも期待した。前報¹⁰⁻¹²⁾で報告したサンプル管ピンを反応容器とした合成方法は、反応物や生成物が液体もしくは固体であった。それゆえ、反応容器としたサン

プル管ビンに発生した気体を閉じ込めるシリンジと、反応物の注入量を制御するためのシリンジをおのおの1本ずつ追加した。その結果、当初の目的を達したと考えられる実験方法が開発できたので紹介する。

2. モジュールスケール気体発生装置の開発とシステム化

有機化合物には、低級の炭化水素などのように常温常圧で気体のものがある。これらを発生させるには気体発生用の装置を組み立てる必要があり、発生した気体はその気体にあった方法で捕集する必要がある。有機化合物の気体、特に炭化水素の多くは分子が無極性であり、水に溶けにくいので通常は水上置換法で捕集する。一般には水上置換法で集気瓶や試験管に発生した気体を捕集しようとする、両手を入れて捕集操作ができる程度の水槽が必要となる。また、水槽は複数個必要であり、授業時間ごとに装置を組み立てることも大変である。

そこで、短時間かつ簡易な実験方法を目指し、化学反応をする反応容器であるサンプル管ビン、反応物の注入量を制御するためのシリンジ、発生した気体を閉じ込めるシリンジという構成にした。反応容器とシリンジ間をシリコン栓、ガラス管、シリコンチューブ、三方コックなどを用いて接続して図1と図2に示すような簡易的な気体発生装置を作製した。



図1 作成した気体発生装置

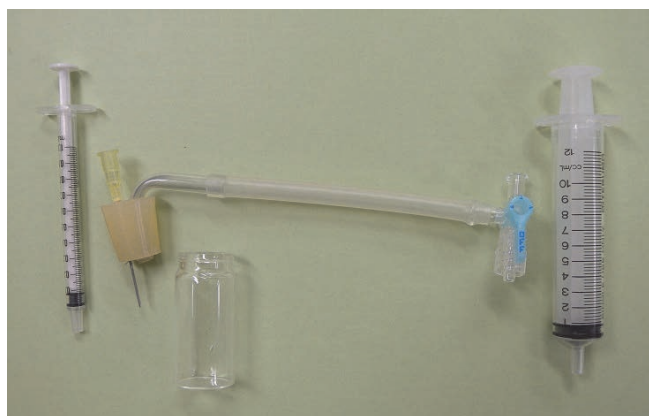


図2 気体発生装置の分解図

反応容器は、前報¹⁰⁻¹²⁾と同様に、ホウ珪酸ガラス製の10mL-サンプル管ビン（高さ45mm，口径15φ，胴径21φ）を用いることとした。サンプル管ビンは試験管とは違い自立するが，上部にシリンジが乗っているため，安全のために針金で作製したサンプル管ビン立てを用いた。この装置では，反応物をサンプル管ビンに入れ，もう一方の反応物をシリコン栓に取り付けている1mL-シリンジに取り，そこから滴下することで反応を開始させる。その後，発生した気体はシリコンチューブの先に取り付けた10mL-シリンジで捕集する。反応を開始して気体が発生すると装置内の内圧が上がり，10mL-シリンジのピストンが自動的に押し出されて，気体が捕集できる。10mL-シリンジとシリコンチューブの間には三方コックがついており，気体を捕集した10mL-シリンジを取り替えることができるので，連続的に発生した気体の採集ができる。この気体採集用の10mL-シリンジは実験台の上に置いていただけなので，シリンジの大きさを変更でき，20mL-シリンジや50mL-シリンジにすることも

できる。図1の作製した簡易気体発生装置は、 $20 \times 20\text{cm}$ のスペースがあれば実験を行うことができる。

この気体発生装置では、 1mL -シリンジから必要な量の試薬を注ぎ込むことで、気体の発生量をある程度制御することができる。気体はシリンジを用いて捕集しているため、水上置換法で用いる水槽等の捕集のための器具を準備する必要が無い。また、シリンジには体積の目盛りが付いているので、捕集した気体の体積も一目でわかることも利点である。

実験条件は、まず教科書等に記載されている通常スケールの実験例をサンプル管ビンの容量に合わせて、扱う試薬の量が 10mL -サンプル管ビンの容量のおよそ $1/3$ 以下となるように設定して行った。すなわち、反応液全体が約 3mL 以下になるようにして追試し、その後実験条件・方法を検討して一般的な合成実験同様の結果が得られるように改良した。

3. アセチレンの合成実験

高等学校の有機化学分野では、骨格に炭素と水素のみを持つ鎖状炭化水素を有機化合物として最初に学ぶ。炭素数の少ない炭化水素は常温で気体として存在するので、そのような炭化水素を合成した場合、気体の生成物を捕集する必要がある。そのために、図1のような簡易的な気体発生装置を作成したので、これを用いてアセチレンの合成実験を検討し、教科書での通常スケールの実験と比較した。

アセチレンは、反応式(1)のように、炭化カルシウム(CaC_2)に水を作用させることで簡単に合成することができる。また、アセチレンは炭素数が2個でその分子構造に三重結合を持つアルキンの代表例として教科書でも扱われている。人体には特に害はないが、引火性の気体であり、多量に扱う場合は扱いに注意が必要である。アセチレンの合成実験は、いくつかの教科書に記載⁵⁻⁹⁾があり、典型的な実験方法を下記に示す。但し、 CaC_2 の使用量は、教科書によって小豆大、大豆大、 1cm^3 と色々の記載がされているが、 CaC_2 の密度は 2.22g/cm^3 であり、もっとも少量と考えられる小豆大が約 1g であるので 1g と記載している。



〈実験方法1〉

① $\text{CaC}_2 1\text{g}$ をアルミ箔（針で穴を開けたもの）で包み、ピンセットで水を張った水槽に沈める。このとき、針穴から発生するアセチレンを水上置換で3本の試験管に捕集し、コルク栓でフタをする。

この実験はアセチレン採集後に、3本の試験管に対して、それぞれ点火して燃焼試験、臭素水を加えての不飽和結合の有無、過マンガン酸カリウムを加えての酸化、という検出反応が続いている。実験操作自体はとてもシンプルであるが、一度 CaC_2 を水に沈めてしまうと反応が連続的に起こるので、炭化カルシウムがなくなるまでアセチレンの発生を停止させることができない。それゆえ、この方法はアセチレンを必要量捕集した後も、水槽から連続してアセチレンを発生し続ける欠点がある。またアルミ箔の色々な箇所から気体が吹き出てくるので、アルミ箔は結構振動する。それゆえ、試験管を用いて発生している気体をその中にうまく入れていくのはかなりの熟練が要る。アセチレン自体は無臭であるが、炭化カルシウムには不純物を含んでいるので、アセチレンと同時に発生する不純物の硫化物の臭気が実験室に漂ってしまう。また、捕集に水上置換法を用いているので、水槽が必要となる

ことや実験機が水浸しになってしまうことが考えられ、現場では少しやりづらい実験ではないかと考えられる。また、 $\text{CaC}_2 1\text{g}$ を反応させてアセチレンを合成した場合、計算上は標準状態で約 350mL のアセチレンが合成される。そのため、教科書で扱われている実験で、試験管 3 本分のアセチレンを捕集するために、もっとも少ない小豆大 (約 1g) でも CaC_2 の量は多すぎるのではないかと考えられる。 CaC_2 の密度は 2.22g/cm^3 であることを考慮に入れると、 1cm^3 の使用では 1L 程度のアセチレンを発生させていると思われる。

そこで、作製した気体発生装置を用いて、アセチレン合成実験のモジュール化を検討した。実験操作は次に示す。

(使用する器具)

サンプル管ビン, 1mL- シリンジ, 10mL- シリンジ, 気体誘導管 (シリコン栓, ガラス管, シリコンチューブ, 三方コック), 簡易サンプル管ビン立て

〈実験方法 2〉

操作 1: サンプル管ビン等を用いて図 1 の簡易的な気体発生装置を組み立てた。組み立て時に、サンプル管ビンには炭化カルシウム 0.2g, 1mL- シリンジには蒸留水 1mL を取り、装置に取り付けた。

操作 2: 1mL- シリンジの蒸留水をサンプル管ビンに入っている炭化カルシウムに少しずつ滴下していき反応を開始させた。このときに注意することは、一度に蒸留水を注ぎ込むとアセチレンが一度に発生して、すぐに発生が止まってしまう。そうすると上手くシリンジでアセチレンを捕集できないので、1 滴ずつゆっくり滴下して、少しずつアセチレンを発生することがよいと思われる。

操作 3: 発生した気体を、三方コックを使って、次々に 10mL- シリンジで捕集した。

操作 4: 反応後のサンプル管ビンの残留部分にフェノールフタレイン溶液を数滴滴下して、色の変化を観察した。

操作 5: 気体をスクリー管ビンに移し、アンモニア性硝酸銀水溶液、薄めた過マンガン酸カリウム水溶液、臭素水と反応させて変化を観察した。

この実験では炭化カルシウム $3.1 \times 10^{-3}\text{mol}$, 水 $5.6 \times 10^{-2}\text{mol}$ として反応させている。実験の結果からは、10mL- シリンジ 4 本分のアセチレンを捕集することができたが、最初の 1 本分は装置内の空気が混合しているため、1 本目は捨てた方がよい。そのため、検出反応に使えるのは 10mL- シリンジ 3 本分である。もし燃焼実験をしたければ 10mL- シリンジ 1 本分をそれに使い、アンモニア性硝酸銀水溶液を止めるとよい。捕集することができた気体がアセチレンであることを確かめるために、以下に示す 3 つの検出反応を試みた。

〈銀アセチリドによる検出反応〉

最初に、アセチレンの持つ三重結合の検出反応として用いられる銀アセチリドの生成反応を試みた。アンモニア性硝酸銀 1mL を取ったスクリー管ビンに捕集した気体を注ぎ込み、すぐにフタを閉めてよく攪拌すると、白色の銀アセチリドの沈殿を生じた (図 3)。このことから、実験でシリンジに捕集した気体はアセチレンであると考えることができる。アセチレンの分子量は 26 であり、空気平均分子量である 29 より 1 割ほど軽いので、スクリー管ビンの口を上方に向けて、上方から 10mL- シリンジに捕集した気体を注ぎ込むことは難しいことではない。但し、銀アセチリドは乾燥させると衝撃で爆発する可能性があるため、検出後は早急に廃液に移すとよい。

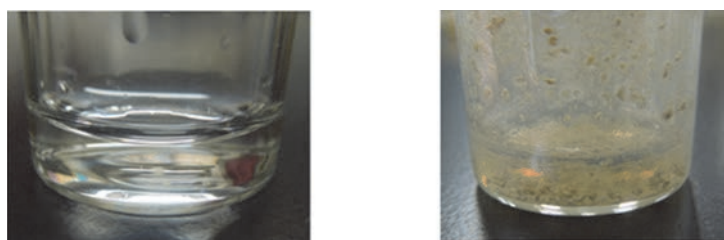


図3 銀アセチリドによるアセチレンの検出
(左：アンモニア性硝酸銀水溶液，右：銀アセチリドの沈殿)

また，アセチレンは三重結合を持ち，その結合は不飽和結合であるため，過マンガン酸カリウム水溶液 (KMnO_4aq) や臭素水を加えて色の変化を見ることで検出を行い，アセチレンの性質を確認することができる。

〈過マンガン酸カリウム水溶液による検出反応〉

KMnO_4aq を 1mL スクリュー管ビンに取り，捕集した気体を注ぎ込み，すぐにフタを閉めてよく攪拌した。すると， MnO_4^- の赤紫色が消え，褐色の MnO_2 の沈殿を生じた (図 4)。この色の変化から不飽和結合の還元性を確認することができ，アセチレンの性質を確認できる。

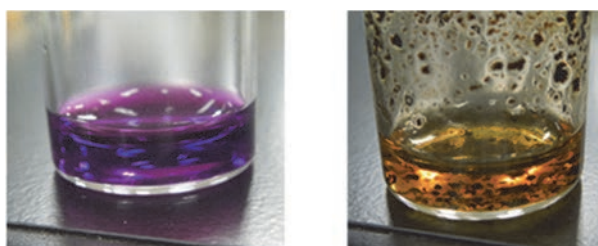


図4 KMnO_4aq の色の変化 (左： KMnO_4aq ，右：攪拌後)

〈臭素水による検出反応〉

臭素水 1mL をスクリュー管ビンに取り， KMnO_4aq と同様に攪拌すると，臭素の褐色はかなり薄くなった (図 5)。これは，付加反応が起こり，臭素がアセチレンの三重結合の部分に付加し，臭素の褐色が消えたと考えられる。このとき，臭素が付加したアセチレンは 1,2-ジブロモエチレン，さらに付加が進むと 1,1,2,2-テトラブロモエタンを生成する。この色の変化から，不飽和結合で起こる付加反応を観察することができ，アセチレンの性質を確認できたと考えられる。

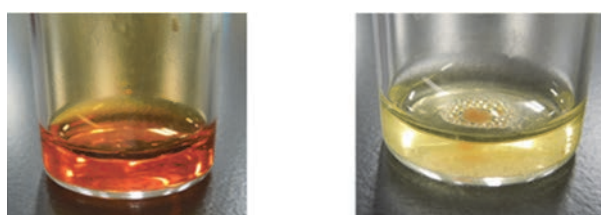


図5 臭素水の色の変化 (左：臭素水，右：攪拌後)

4. 考察

反応物の状態が一方は固体でもう一方は液体であり、主生成物が気体であったので、化学反応をする反応容器であるサンプル管ビン、反応物の注入量を制御するためのシリンジ、発生した気体を閉じ込めるシリンジという構成にした。図1に示すように、反応容器とシリンジ間をシリコン栓、ガラス管、シリコンチューブなどを用いて接続して簡易的な気体発生装置を作製した結果、実験装置全体のスケールダウンを行うことができたと考えられる。反応容器にサンプル管ビンを用いたことで、教科書記載の使用量⁵⁻⁹⁾にもよるが、1/5～1/10に削減することが可能となった。また、発生した気体はシリンジに封入されるので、不純物のにおいを気にすることなく実験は安全に行うことができた。また片方の反応物の注入量を調節することで反応の制御ができることも確認した。

また、試薬量を削減して実験を行ったが、全て教科書で示されているような実験結果と同様の結果となった。このことから、従来の実験教材に代わるものとしてモジュール化実験を用いたとしても、従来の実験教材と同等の教育効果を学習者に与えることができると考えられる。

5. モジュール化した有機合成実験の活用

モジュール化を行った有機合成実験の活用を目的として、アセチレン合成実験について、実験の操作性や結果の明瞭性を検証するために、京都教育大学大学院の授業において授業実践を行った。実験後のアンケート結果について、同様な意見についてはまとめた形にして報告する。

理科教育教科内容論Ⅱ－化学－での授業実践

【日時】2014年11月11日（火）6限目

【場所】京都教育大学化学共通実験室

【対象】京都教育大学大学院理科教育専修1回生6名

【実施内容】

この実践では、「アセチレンの合成実験」について、教科書に掲載されている方法（〈実験方法1〉）とモジュール化（〈実験方法2〉）との2種類を行って比較させた。モジュール化実験では、合成したアセチレンの検出反応（臭素付加、過マンガン酸カリウム水溶液による酸化）も行った。

〈アンケートの内容と結果〉

質問①：今回行った実験全体を通して、実験操作についてどう思いましたか。また、その理由についても書いてください。

- ・「入れる→たらす→ふる」だけだから。定量的なことをあまりきにしないでいいから。
- ・操作は簡単であったが、チューブの接続等によってアセチレンの収集量に差があった。
- ・説明がわかりやすく、やりやすかった。
- ・注射器とコックの向きに気をつけていれば、特に難しいと感じることはなかった。
- ・器具が全体的に不安定なので、倒れないように注意しながら操作するのが難しかった。
- ・操作自体に難しさは感じないが、スケールが小さくなることにより扱いにくさも同時にあるかもしれない。

質問②：今回の実験で、サンプル管ビンを反応容器としたことで実験操作や観察はどうでしたか。また、その理由も書いてください。

- ・観察はすごくしやすかったと思います。
- ・サンプル管ビンが倒れそうになることがあったが、個別で観察しているので観察はしやすかった。
- ・サンプル管ビンが倒れやすいが、固定する台をもっとしっかりしたものにすれば、もっと簡単になると思う。
- ・反応物が壁について真っ黒になってしまったため、(反応容器内の)観察がすこし困難だと思う。短いので、試験管でやるときのように側面につかなくていい。ふりやすい。
- ・バネの安定感が少し欠けていたのかやや不安定だった。管の向きに傾いていた。

質問③：作成した気体発生装置を用いてアセチレンを発生させた実験、通常の水槽を用いた発生方法と比べてどうでしたか。また、その理由も書いてください。

- ・通常的水槽を用いた発生方法では、アルミニウム箔の隙間から気体がもれて捕集しにくかったが、作製された装置は管でつながれているので捕集しやすかった。
- ・質問②にも書いたとおり、見やすいし、反応している様子も観察できるので。
- ・水槽を使うと臭いが気になるが、スモールスケールだと気にならなかった。
- ・通常的水槽を用いた発生方法にはおもひどく、また、発熱反応なので、危険だと思ったから。スモールスケールの方は、通常よりも試薬が少ないため、安心して操作できた。
- ・「気体のもれ」の課題が難しかった。

質問④：10mL- シリンジを用いて合成したアセチレンを捕集した操作（操作2）についてどう思いましたか。（自由記述）

- ・蒸留水を入れるとすぐに気体が発生しているのがわかり、少しずつ入れれば問題なく捕集できる。
- ・シリンジのゴムの部分が引っかかるとアセチレンは水の方に逆流するので、注意が必要だと思う。
- ・ふると一気に捕集できる点には注意しないといけないかもしれない。
- ・すごくイメージしやすかったし、その後の操作も楽でした。
- ・加減がやや難しい。振るといきなり（気体がシリンジに）捕集される。

質問⑤：アセチレンの性質を確認する操作（操作5）では、うまく観察できましたか。操作をしてみても思ったことを書いてください。（自由記述）

- ・観察はしやすかった。アセチレンを入れるときに白煙があがり、少し臭いがきつかった。
- ・うまく観察できた。酸化還元反応で沈殿ができる様子、付加反応が間近で見られてよかったと思う。
- ・フタがついているので振りやすかった。試験管では思いっきり振れず、混ざったかどうか分かりにくい、これならその心配をしなくてよかった。
- ・シリンジを用いたことで、やりやすくなったと思います。
- ・通常スケールとあまり様子が違わなかったのも、結果としては成功かと思った。
- ・しっかりと観察できたので、問題はなかった。

質問⑥：今回行った実験を高校生でも上手に行うことができますか。また、その理由も書いてください。

- ・操作自体は簡単なので、丁寧に注意を行えばうまく行うことができると思う。
- ・通常よりは、うまくできると思う。失敗したとしても、通常よりは危険性が少ない。
- ・フタが付いていたり、安全面的に保障されているし、操作も簡単だから。
- ・高校生はできると思いますが、ちゃんと考察が一人でできる子どもでないと、少し危険かもしれません。
- ・注意点を意識させておけば、問題はないと思う。
- ・安全性を考慮すれば実現可能に近づくのではないかと考えた。

質問⑦：サンプル管ビンを用いたモジュール有機化学実験を体験してみて感じた、良かったところや悪かったところ、また、改善点などがあれば自由に書いてください。

- ・装置を作製されたぶん、気体が接続部でもれたり、サンプル管ビンがこけやすかったりしたが、実験は簡単に、上手く観察できた。有機化学実験を高校でしたことがなかったので、うまく取り入れられれば有効であると思う。
- ・有機化学は実感がわかなくて、不得意だが、今回の実験や考察を通して実感を伴った理解ができたので、もっと勉強しようと思った。有機化学は反応物のエネルギーが高くて怖い実験が多いが、モジュールで安全にできたら良いと思う。
- ・土台がすこし不安定だった。操作の簡単さもあり、試験管でやるよりも良いと思う。
- ・1人1台のメリットは十分にあると思いました。しかし、少し扱いづらさも逆に増えたので、する実験は選ぶかもしれません。
- ・モジュールでも結果が明確に観察されていたのでよかったと思う。ややバランスに不安定さがあったので、その点を改良していただければと思う。

授業実践から、本研究で作製した実験装置を用いたモジュール有機合成実験は、従来の実験に比べて操作が簡単である、安全に行うことができるという意見が多く出た。また、今回の対象は大学院生であったが、ほとんどのアンケートで高校生でもうまく行うことができる回答していたので、高校生を対象にしても実験教材として活用可能であると考えられる。

しかし、サンプル管ビンの上部に 1mL- シリンジが乗ったことにより、サンプル管ビンが少し不安定となった。従来のサンプル管ビン立てでは強度が足りず、操作をしているときに傾いてしまうことがあるなど課題があった。この点については、針金を太くして強度を高めるか、サンプル管ビンの底部がセルにちょうど入る 12 ウェルセルプレートにはめ込むか、サンプル管ビンの直径に合わせた穴を開けた木製のサンプル管ビン立てを作成すると、さらに安定するように改良できると思われる。アセチレン合成では、加熱は不要で、かつ有機溶媒は使わないので、セルプレートを台として使用するのが簡単であろう。また、発生した気体を 10mL- シリンジで捕集するときに三方コックとの接続が上手くいっていないと気体が捕集できないが、この点のはめ込みの力加減なので初めての使用者には感覚的な説明が難しい。慣れの問題であるので、最初に三方コックと 10mL- シリンジは教員が接続をしておいて、力加減のサンプルとするのがよいと思われる。

6. 結論

作成した簡易的な気体発生装置により、実験装置全体のスケールダウンを行うことができたと考えられる。教科書記載の使用量^{5,9)}にもよるが、1/5 ~ 1/10 に削減することができた。また、発生した気体はシリンジに封入されるので、不純物のおい気を気にすることなく実験は安全に行うことができた。また片方の反応物を注入するシリンジの量を調節することで反応の制御ができることも確認した。さらに、試薬量を削減して実験を行ったが、全て教科書で示されているような実験結果と同様の結果となった。このことから、従来の実験教材に代わるものとしてスモールスケール化実験を用いたとしても、従来の実験教材と同等の教育効果を学習者に与えることができると考えられる。

反応形態を考えると、反応物の2種類が衝突して起こる有機合成反応では、おのおのの反応物の状態に固体、液体、気体があり、それぞれの状態同士の組み合わせ、つまり、「固体+固体」、「固体+液体」、「固体+気体」、「液体+液体」、「液体+気体」、「気体+気体」で反応させる6パターンが考えられる。そのうち、高等学校で扱うような合成実験の多くは「①固体+液体」と「②液体+液体」である。また、得たい主生成物の状態が固体、液体、気体の3パターンがあるのと、試薬を反応させる時の温度が常温と比較して、冷却により「低温」にすることや反応容器を放置して「常温」で反応させること、加熱により「高温」にする3パターンがある。従って、積算すると54種類もあることになるので、1台で全ての種類の有機合成反応の反応形態を満足するようなスモールスケール反応装置を開発することは無理と思われる。今回開発した気体発生装置は反応物が「①固体+液体」であるが、高等学校でよく扱う「②液体+液体」にも対応でき、得たい主生成物の状態が気体であることを念頭に置いた。試薬を反応させる時の温度は、反応容器を放置して「常温」で反応させるが、氷での冷却により「低温」にすることや、ホットプレートでの加熱により「高温」にもできる。それゆえ、今後これを用いて、異なる種類の反応での実験教材の開発が期待できると思われる。

参考文献

- 1) 文部科学省「高等学校学習指導要領解説 理科編・数理編」実教出版 2010.
- 2) 山内薫ら『化学』第一学習社, 2013, p. 249.
- 3) 竹内敬人ら『化学』東京書籍, 2013, p. 306.
- 4) 辰巳敬ら『化学』数研出版, 2013, p. 283.
- 5) 山内薫ら『化学』第一学習社, 2013, pp. 324-325.
- 6) 竹内敬人ら『化学』東京書籍, 2013, p. 316.
- 7) 辰巳敬ら『化学』数研出版, 2013, p. 292.
- 8) 齋藤烈ら『化学』啓林館, 2013, p. 292.
- 9) 竹内敬人ら『新編化学』東京書籍, 2013, p. 197.
- 10) 巻本彰一, 藤田義人「有機化学実験のスモールスケール化ーサンプル管ビンを反応容器とした脂肪族エステル合成ー」『京都教育大学紀要』133, 2018, pp. 7-19.
- 11) 巻本彰一, 藤田義人「有機化学実験のスモールスケール化Ⅱーサンプル管ビンを反応容器とした芳香族エステル合成ー」『京都教育大学紀要』133, 2018, pp. 21-33.

- 12) 卷本彰一ら「有機化学実験のスモールスケール化Ⅲーサンプル管ビンを反応容器としたニトロベンゼンとアニリン合成ー」『京都教育大学紀要』134, 2018, pp. 1-12.