

実験装置を組み立てる教育

The education to learn to think for oneself using assembling experimental apparatus

遠藤 忠利

Tadatoshi ENDO

1. はじめに

近年、学生が自分で考え、論理的に与えられた問題を解決していく「問題解決型」の学習、教育プログラムが重要視されている。それは、従来の知識を増やす教育だけでは、マニュアル化された問題は解決できるが、知識を組み合わせて判断することや想定外のことには対応できないということによるものである。このような学習の中では特に自分で考えるということが重要になる。

自分で考えることを求める問題解決型の教育プログラムは作成の難しいプログラムである。特に低学年の大学生においては、基礎学力、基礎技術、論理的思考がまだまだ不足していること、授業中で行なう場合は単位の取得（レポートを出すこと）が目的となり、興味の対象にまでならないことが多い。したがって、学生は、ネットでの情報の取得を主とし、自分で考えるということがなかなかできない状況になり、結果、彼らの提出物は独創的なものより同じような無難なものがほとんどとなる。筆者は、「化学演習」という実習を含む授業の中で、できるだけ自分で考え、自分の文章で表現するように指導しているが難しい状況である。そのような中で今回は、その授業の中の「基本的な実験操作」という項目で「実験装置を組み立てる」ことを、「自分たちで論理的に考える」課題として行なったことを報告する。

2. 「基本的実験操作」の授業内容

「実験装置を組み立てる」課題を与える前に「基本的な実験操作」の授業で次のようなことを学生に示している¹⁾。

- 市販試薬の状態（固体、液体）、梱包形態（試薬びん、アンプル、バイアルびんなど）とそこからの試薬の取り出し方と注意。
- 溶液の作り方、攪拌における注意（粘度、不溶物の存在等による攪拌法方法の選択）。
- 反応後の処理方法の説明。ろ過、再結晶、抽出、ク

ロマトグラフィー、蒸留（常圧蒸留、減圧蒸留、水蒸気蒸留等）などの基本的分離精製方法の説明と注意。

これらにより反応を行なう前から後処理までの一連の方法を示し、その中で、どのような場合にどの方法を用いるかという論理的な考え方も示している。

また、学生には、「化学演習」の安全教育に関する項目で実験装置のいくつかを示している。

3. 与えた課題

2. の項目を学習したうえで、次のような課題を各班に与えた。

フラスコの中に、ある原料の溶液を入れ、そこに試薬を少しずつ加えていく反応を行ないたい。下記の反応条件に適した実験装置を組み立てよ。

反応条件

- ①溶媒の種類： 水 ヘキサン（沸点 69°C）
- ②反応温度： 氷温 室温 還流（沸騰）
- ③試薬の形状： 液体（用いている溶媒の溶液）
 固体（薬さじで少しずつ加える）

①～③それぞれの反応条件の中から1つずつ指定しておき、反応装置を組み立てることを求めた。5～6人で班を組み、それぞれの班がどの条件になるかは、くじ引きで決めた。12通りの組み合わせがあるので、1回の授業の中のすべての班が異なる条件で反応装置を組み立てることになった。

実験器具は主としてガラス製の共通ズリでそろえ、差し込むだけで組み立てることができるものを選んだ。ほとんどの器具は学生（1年生）が初めて見るものである。したがって、冷却管、滴下ロート、塩化カルシウム管などについては、どのように用いるか、特徴は何か等について説明を行なった。器具の中にはこの実験には全く関係の無いものも混ぜておいた。また、本来、実験装置は架台にクランプで止めて縦に組み立

実験装置を組み立てる教育

てるものであるが、なれていない学生には難しいので組み立てて床に寝かせて置くようにした。したがって、冷却水の循環、攪拌装置、加熱装置、冷却用デューワースビン等は省いて作るようにした。これにより、通常の教室でもこの課題は行なえることになった。考え方がまとまった班から、組み立ててもらい、写真撮影を行なった。次回の授業で、それぞれの班に自分たちの写真画像について説明をすることを求め、その後に筆者が講評する形の授業を行なった。

4. 器具の組み立てのポイント

反応条件から必要な器具を組み立てるときのポイントは次のようになる。反応容器は、なす型フラスコ、三口フラスコのどちらを用いてもかまわない。還流以外、特に氷温下では、反応温度を測定する必要があるため温度計を組み込む必要がある。

① 溶媒の種類

ヘキサンのような有機溶媒を用いるときには、外気からの湿気の侵入を防ぐことを考えた方が良いので塩化カルシウム管が必要になる。水を溶媒としたときには、水で塩化カルシウムが溶けることを考えると取り付けることは不適切である。

② 反応温度

還流の場合は必ず冷却管が必要になる。それ以外は必要無い。冷却管の種類は問題にしないが、そこから固体を投入する場合はフラスコ内部に落ちるような形状のものを選ぶ必要がある。また、還流の場合は、装置を密閉してはならない。

③ 加える試薬の形状

液体の場合は、滴下ロートを取り付ける必要がある。スポイトで入れるとの解答もあったが滴下ロートが器具の中にあるので用いるべきである。固体の場合はスパチュラ（薬さじ）で加えるように指示したが、還流時は蒸気が上がるのでどこから投入するかを考える必要がある。

5. 学生の組み立てた実験装置

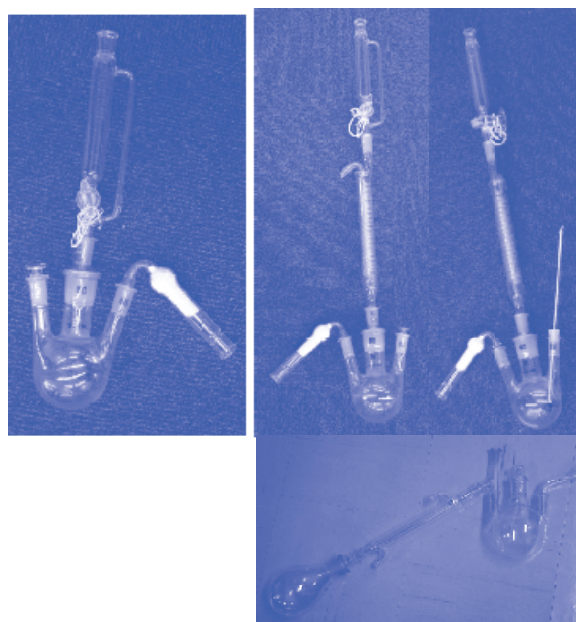
学生が組み立てた実験装置のいくつかについて例を上げる。まずは、反応条件として一般的な液体を加える場合を示す。

①ヘキサンを用い、氷温下で液体を加える場合



上段の3例は、ほぼ同じで、滴下ロートの上に塩化カルシウム管がついていないことが不備となる。下段については学生にどのような考え方でこのような装置を作ったかと聞いてみたが何も考えずに作りましたと答えた。

②ヘキサンを用い、室温下で液体を加える場合およびヘキサンを用い、還流下で液体を加える場合



上図左側が室温の場合、右側3つが還流の場合である。違いは冷却管を入れるかどうかである。左側の図、

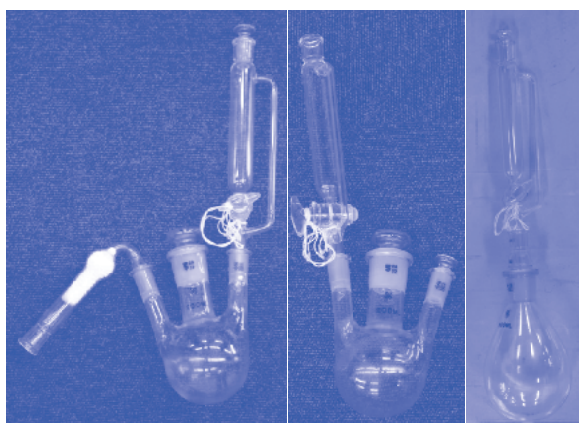
室温の場合は滴下ロートに栓をすれば問題は無い。温度計を加えれば完璧である。右側の図、還流の場合の上段の2つは栓をした滴下ロートを三口フラスコに直結させ、代わりにジムロー冷却管の上に塩化カルシウム管を付けばよい。蒸気が滴下ロートまで上がるのではないかと考えてジムロー冷却管の上に取り付けたのであろうが、滴下物がすべて三口フラスコの中に入るか問題があるのと、塩化カルシウム管とジムロー冷却管の水の通る部分の高さの差から外部に塩化カルシウム管を通してヘキサシランが漏れる可能性があるのも間違いである。右側下段の図に関しては、リービッヒ冷却管は蒸留時に用いることが高校の教科書にあるので「冷却管を付けたら蒸留する」ということから抜け出せないことによる誤答であろう。

③水を用い、氷温下で液体を加える場合



左側の2つはほぼ同じ。内部温度を測りながら滴下することを考えると温度計を付けておく必要がある。左から3番目はなぜかアウトザッツを挟んでいるが、学生によるコメントでは外気と繋げたかっただけであるとのことである。いちばん右の温度計はアイスバスの温度を測定するために温度計を横に置いたとのことである。

④水を用い、室温下で液体を加える場合



左側の装置は塩化カルシウム管が付けられているのが間違いである。中、右側は問題ないが温度計を付けておいた方がよい。

⑤水を用い、還流下で液体を加える場合

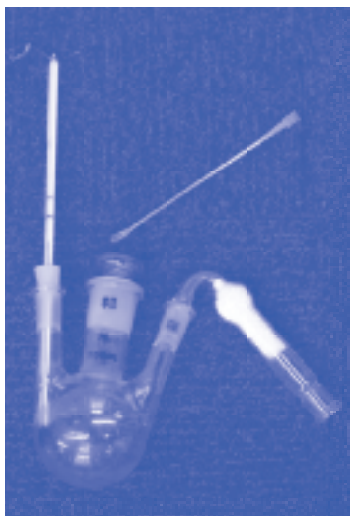


左側に関しては冷却管が取り付けられておらず、また、栓もしていないことで全く理解されずに組み立てられたものである。右側に関しては、ジムロー冷却管が取り付けられてあり還流条件を満たす。液体を滴下することに対しては、長い管（実際は減圧蒸留時のキャピラリー用の管である）を通して液体を加えていくと説明していた。

次に通常の実験ではあまり行なわれない固体を加えていく条件についての比較的正確に近い画像を一例ずつ示す。特に還流下で固体を加えることは突沸などの危険を伴うことも有り通常は行なわないが、学生たちが考えて作成した画像を示す。

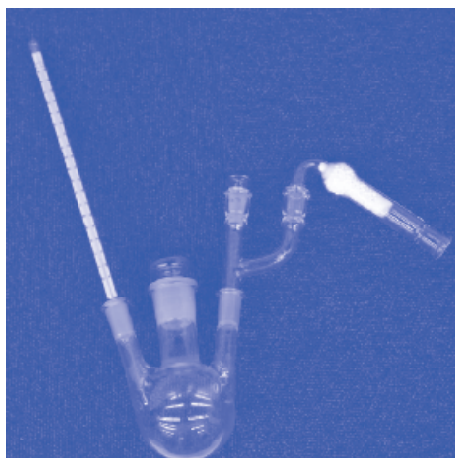
実験装置を組み立てる教育

⑥ヘキサンを用い、氷温下で固体を加える場合



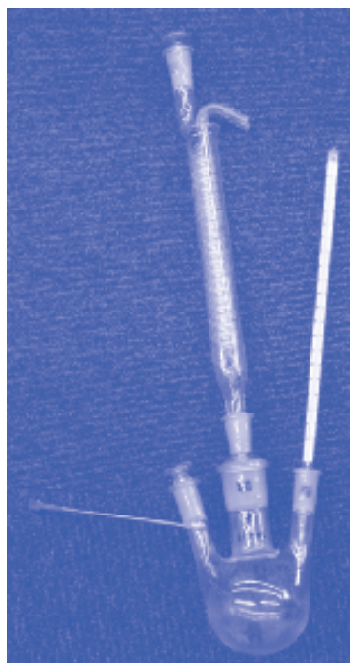
問題の無い実験装置である。

⑦ヘキサンを用い、室温下で固体を加える場合



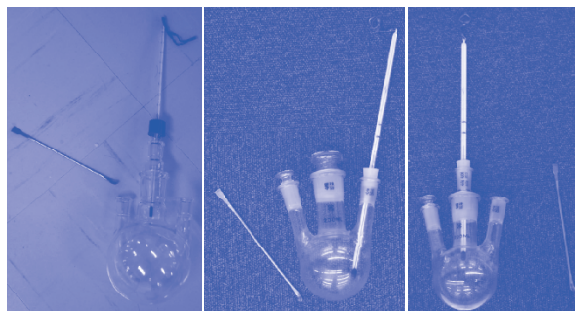
三口フラスコを用いているので右側の分岐管は入れる必要が無い。

⑧ヘキサンを用い、還流下で固体を加える場合



まず、密閉系であるので還流条件に合わない。ジムロー冷却管の上に塩化カルシウム管を付ける必要がある。固体の投入口であるがジムロー冷却管の水が通る部分より上でないと蒸気が上がって危険である。

⑨水を用い、氷温下、室温下、還流下で固体を加える場合



どれもほぼ同じ装置となった。左から氷温下、室温下、還流下である。氷温下の装置は正しい位置に温度計の設置が必要。室温下の装置は正解。還流下の装置はなぜか冷却管が付いていない。還流の説明を理解していないことが原因であろう。

6. まとめ

それぞれ、いくつかの例を見てきたが、学生はどこかしらに不備がある装置を組み立てることが多い。高校では、教科書掲載以外の装置を組んで実験、反応を行なうことはほとんど無い。さらに、初めて見る器具の構造を理解し装置を組み立てることになるので、たいへん難しい操作になり、不備があるのは当然である。

そのような前提で、器具を組み立てる作業を行なうことにより次のような効果が期待される。(1) 実験器具の構造の理解し、どのような目的でこのような形体をとっているか考える機会を与えることができる。通常の実習では実験器具は指定され、使い方も手順も示して実習は行なわれているので、通常の実習では得られない効果となる。(2) 初めて見る実験器具についても使い方を考える練習になる。(3) ここで与えた条件のみでは、ネットなどで調べてもわからないことが多いので、自分たちで考える他には無い。与えられた条件を満たす装置を考える練習になる。(4) 他の班の学生の前で説明をすることで、自分たちの考え方を明確にする。このことで、論理的な思考をする練習になる。

次に、この作業で今後検討すべきことには次のようなことがあると考えられる。(1) 空の実験装置を組み立てるだけであるので実感が持てない。まったく実験の経験が無い学生では、どのように使われるのかが想像できないことがある。(2) 製作した装置がどのような不備があるかを体験できない。(3) 架台へのクランプ止め、冷却水の循環、アイスバスの設置、ヒーターの設置、攪拌装置の設置など省かれた部分が実験を行なうときに必要であるということを体験することができない。(4) 滴下ロートからの滴下の様子、還流の様子などを視覚に訴えることができない。このように装置を作るだけでは実体験にならないことが問題となる。これらは、動画等を作成しておく等の準備が必要になると考えられる。

以上のように、いくつかの問題はあるが、実験装置を組み立てることは、「調べる」のではなく、「考える」ということを学ぶ一材料になるのではないかと考えている。

引用文献

- 1) 遠藤忠利、「化学演習」、開成出版 (2012 年)

実験装置を組み立てる教育

The education to learn to think for oneself using assembling experimental apparatus

歯学部学内教授 遠藤忠利