

出前化学実験の実験教材の改良のための検討 化学マジック「瞬間消滅—魔法の綿」の演示ほか

戸谷 義明

理科教育講座（化学）

Study of Improving Teaching Materials for the Delivery Practice of Chemistry Experiments Demonstration of Chemical Magic “Sudden Disappearance –Magic Cotton–,” etc.

Yoshiaki TOYA

Department of Science Education (Organic Chemistry), Aichi University of Education, Kariya 448-8542, Japan

Abstract

We have developed teaching materials and methods for chemistry (science) experiments related to people's daily lives, allowing people to realize that science is a valuable subject and utilize the materials and methods in science learning. We have researched to establish the developed teaching materials and methods by practicing, evaluating, and improving them in the delivery practice of chemistry experiments. The author (T) is going to retire in March 2022. Therefore, we report here the improved method of “Sudden Disappearance -Magic Cotton-,” one of the contents in the delivery practice of chemistry experiments, especially improved after the publication of “Chemical Magic Demonstrations” in March 2018.

I. はじめに

これまで著者らは、身の回りや身近なことに関連した内容で、人々が、理科が役に立つ教科であることを実感でき、理科学習に活用できるような化学（科学）実験教材と指導法を開発してきた。開発した教材と指導法を大学授業の一環である出前化学実験として実践¹⁾し、評価、改善して確立することを目的として研究を進めてきた。^{2, 3)}

筆者（T）は2022年3月に退職することになった。そこで、2018年3月に「化学マジック実験集」⁴⁾を出版した後に改良した、出前化学実験の実践内容の一つである「瞬間消滅—魔法の綿」の改良法を、ここに報告する。

出前化学実験では「瞬間消滅—魔法の綿」の演示題目で、手の平の上で硝酸セルロース（硝化綿）の燃焼を体験する実験を行ってきた。その際に体験者が熱いと感じるときがあり、その場合、煙が出たり、燃え残りがあつたりする傾向があつた。調製した硝酸セル

ロースの、反応前後の質量から計算した窒素量は13%以上で強綿薬に相当し、煙や燃え残りが発生する理由は不明であつた。そこで、調製の際の温度などの条件を詳細に再チェックするとともに、調製した硝化綿の溶媒への溶解試験を行うことにした。さらに硝化綿の条件や状態を変え、燃焼の早さ、様子、煙や燃え残りの発生をスロー撮影することにより調査した。

II. 硝化綿の調製

実践で使用した硝化綿は「化学マジック実験集」⁴⁾に記述した方法で調製してきた。

- 1) 標本瓶（880mL）中、0-1°Cに氷冷した70%濃硝酸200mLを、ガラス棒で、かくはんしたところに、ラップをした500mLメスシリンダー中、0-1°Cに氷冷した濃硫酸400mLを、6-7分間掛け（特に、最初は少量ずつ）、ゆっくり加えていくことで温度の上昇を32°Cまでに押さえることができた。
- 2) この混酸を8°Cまで氷冷し、これに減圧乾燥した

脱脂綿を、ふわふわにしながら少量ずつ、ガラス棒で押し込みながら全て浸した。全ての綿を入れた後の混酸の液温は13°Cであり、この操作での温度の上昇は少ないことが分かった。

近年、脱脂綿の量を従来の約19g (0.12mol, 生成物の窒素量13.3%) から約29g (0.18mol) に変更(混酸中の硝酸は3.2molで、硝化度3に必要な0.53molに比べても大過剰)した。窒素量は13.3% (硝化度2.70)、又は13.5% (硝化度2.76) で、従来の13.3%と同等の硝化綿が得られ、同様の燃焼を示した。

ちなみに硝化綿の硝化度とはセルロースのモノマーのグルコースの水酸基3個(2, 3, 6位)が硝酸エステル化された割合を示す。セルロースでは硝化度0、完全なトリエステルでは硝化度3(窒素量14.14%)となる。日本では、便宜上、窒素量約13%以上を強綿薬、約10-12%のものを弱綿薬と呼ぶ。⁵⁾

窒素量 z 、及び硝化度 y は調製反応前後の質量比 x (生成した硝化綿の質量÷原料の脱脂綿の質量)から、以下のように計算できる。

$$x = \{162.14\text{g/mol (C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5\text{の}M) + [46.01\text{g/mol (NO}_2\text{の}M) - 1.01\text{g/mol (Hの}M)] \times y\} \div 162.14\text{g/mol (C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5\text{の}M)$$

$$y = [x \times 162.14\text{g/mol (C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5\text{の}M) - 162.14\text{g/mol (C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5\text{の}M)] \div [46.01\text{g/mol (NO}_2\text{の}M) - 1.01\text{g/mol (Hの}M)]$$

$$\text{窒素量}z\% \text{ (w/w)} = [14.01\text{g/mol (Nの}M) \times y] \div [162.14\text{g/mol (C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5\text{の}M) \times x] \times 100$$

Ⅲ. 脱脂綿、及び硝化綿の水分の測定と補正

脱脂綿、及び硝化綿の水分を測定し、水分が窒素量 z 、及び硝化度 y の計算値へ与える影響を調べた。

- 1) PE製袋とケミカルバンドを使用し、五酸化リンの入ったデシケータ中で脱脂綿、及び硝化綿を真空乾燥して水分を測定した。ただし、硝化綿は危険であるので約1gを分取して乾燥した。
- 2) 25°C湿度36%で脱脂綿29.04gを2日間乾燥すると、28.32gになった。したがって、水分は0.72gで、脱脂綿中の水分の割合は2.48%。これまでの測定値は5%、⁴⁾又は3.64% (2020年度)。
- 3) 19°C湿度35%で硝化綿1.19264g, 1.14072g, 1.04337g, 1.17017gを2日間乾燥した。水分は12.80-17.04mg, したがって、硝化綿中の水分の割合の平均値は1.31% (1.23-1.43%)。これまでの測定値は3.5%、⁴⁾又は1.65% (2020年度)。

質量の水分補正有と補正無で硝化度、及び窒素量を計算すると、表1のようになった。

表1 2020年度, 2021年度の結果

	脱脂綿の 質量(g)	硝化綿の 質量(g)	反応前後 の質量比	硝化度	窒素量 (%)
補正無	29.04 29.31	51.30 51.30	1.767 1.750	2.762 2.703	13.51 13.34
補正有	28.32 28.28	50.6 50.5 (1.65%)	1.79 1.78	2.84 2.83	13.7 13.7

過去のデータには温度、湿度の条件の記録が無かったので、補正無のデータで過去と比較するのが適切と考えられた。2021年度の未補正のデータは、これまでで最も窒素量が多かった。補正後のデータは2020年度のもの、ほぼ同様で、これまでの最高13.8%に匹敵する大きい値であった。反応前後の質量比からは、未補正のデータでも窒素量約13%以上の強綿薬相当が得られたことが分かった。

Ⅳ. 溶媒への溶解試験

脱脂綿(セルロース)も硝化綿も水には溶けないが、セルロースと異なり、硝化綿はアセトン、エタノール(EtOH)、ジエチルエーテル(Et₂O)、酢酸エチルなど、様々な有機溶剤に溶解する。硝化綿の窒素量により用途が異なり、溶剤への溶解性が変わる。火薬に使われるのは12%以上で、10-12%のものはコロジオン、フィルム、セルロイド、ラッカーなどの用途がある。10%未満、及び12.8%を超えるものはEtOHには溶解しない。13.1-13.4%のものはEtOH/Et₂O (1/2) に不溶となる。10%以上のはアセトンに非常によく溶ける。⁵⁾以上のことから、火薬用ニトロセルロース試験方法としてEtOH/Et₂O (1/2) への溶解度測定(不溶解分1%以上を弱綿薬と記述有)、及びアセトン不溶解分測定⁶⁾が行われているようである。

そこで、調製した硝化綿の窒素量を推察するためにアセトン、及びEtOH/Et₂O (1/2) への溶解試験を行った。

1) アセトンへの溶解試験と結果

- ①真空乾燥した硝化綿1.03057g、及び1.15522gにEtOH各10mLを加えて浸し、その後、アセトン各150mLを加えて振とうすると、ほとんど溶解し、翌日まで放置すると、ごく僅かな沈殿がある状態となった。
- ②ガラスフィルターで濁り状の沈殿を、ろ取し、ガラスフィルターのまま4時間真空乾燥すると、質量の変化は、それぞれ、+0.8mg及び-1.3mgであり、ほとんど不溶物はないという結果となった。

ちなみに、これらアセトン溶液をエバポレーターで濃縮乾固して残さ1.09g、及び1.20gを得た。残さ1.20gをアセトンに再溶解させようとしたが、200mL以上必要であった。残さ1.09gにEtOH 10mLを加え、アセト

ン150mLを加えて1日放置すると、再溶解した。

これらのアセトン溶液から硝酸セルロースを回収することを検討した。

残さ1.20gのアセトン溶液にEtOH 100mLを加えて減圧濃縮し、残さが30.6gになったところでEtOH 100mLを追加した。不溶物をガラスフィルターで、ろ取、風乾し、薄片状のEtOH不溶物0.92gを得た。ろ液を濃縮してEtOH可溶物の残さ0.04gを得た。

残さ1.09gのアセトン溶液にEtOH 100mLを加え、65.3gになるまで減圧濃縮した。濁りが出ている残さにEt₂O 90mLを加えたが、良好な沈殿が生成せず、アセトン50mLを加えると、溶液になった。この溶液に水70mLを加えると、白い沈殿が生成した。この混合物を50.1gになるまで減圧濃縮した後、フラスコに残りにくい繊維状の沈殿をガラスフィルターで、ろ取、風乾してケーキ状の水に不溶の固体1.02gを得た。

アルミホイルの上で、これらの回収物各0.05gを燃焼させてみた。

薄片状のEtOH不溶物は、非常にゆっくりと燃え、EtOH可溶物が除かれたことで窒素量の上昇が期待されたが、濃褐色の灰が残った。

繊維状の水不溶物も、ゆっくりと燃えたが、灰は余り残らなかった。

いずれも脱脂綿から調製した硝化綿に比べ、燃え方がゆっくりで、手の平の上で燃やすには適さず、一瞬で燃えるには繊維状の形状が重要であると予想された。

2) EtOH/Et₂O (1/2) への溶解試験と結果

①真空乾燥した硝化綿1.17560g、及び1.12587gにEtOH各75mLを加えて浸し、その5時間後Et₂O各150mLを加えて振とうすると、ほとんど変化がなかった。翌日まで放置の後、不溶物を、それぞれガラスフィルターで、ろ取し、EtOH/Et₂O (1/2) 各10mLで4回洗浄後、4.5時間真空乾燥すると、それぞれ、-43.8mg、及び-43.3mgであり、3.73%、又は3.84%減少した。1%以上の減少があった。

得られた硝化綿のEtOH/Et₂O (1/2) 洗浄物は、後述する燃焼試験に使用した。

以上のことから、調製して得られた硝化綿は窒素量10%以上であり、窒素量12.8%未満のものを4%弱含む強綿薬であると推察された。

V. 硝化綿の燃焼試験の方法

燃焼試験は以下のように行った。

- 1) 条件の異なる硝化綿各0.10gを、写真1に示す燃焼試験枠の下に敷いた白色低発泡PVC板の中央に置き、これに線香の火、又は熱したクリップを近付けて点火して燃やした。
- 2) 燃焼試験枠の背景には黒色発泡PPシート(300mm×

450mm×厚さ3mm, 3枚連結)を設置した。

- 3) 燃える速さ、燃焼の様子、及び煙の有無をiPhone11 Proを用いてスローモーション撮影を行って記録した。撮影条件は1080p 240fpsで2回撮影し、30fpsで再生(1/8倍速)し、判定した。
- 4) 燃え残りは下に敷いた300mm×450mm×厚さ1mmの白色低発泡PVC板の上に残ったもの、又はEtOHを染みこませたキッチンペーパーで拭き取った汚れを目視、及び写真で撮影し、観察、判定した。
- 5) 硝化綿については、以下の状態のものを使用した。
 - ・調製後、そのまま乾燥。
 - ・調製、乾燥後、EtOH中に保存してから乾燥。
 - ・調製、乾燥後、EtOH/Et₂O (1/2) で洗浄して乾燥。
- 6) 硝化綿の形状については、乾燥したものを、以下の形状にして使用した。
 - ・よくほぐした。
 - ・そのまま。
 - ・そのまま丸めた。
 - ・よくほぐしてから丸めた。
- 7) 各状態と形状の組み合わせについて調査した。



写真1 燃焼試験枠。

VI. 燃焼試験の結果

燃焼試験の結果は以下のようであった。

- 1) 調製後、そのままより、EtOH中に保存した、又はEtOH/Et₂O (1/2) で洗浄して乾燥した場合に、煙や燃え残りが明らかに少なかった。写真2, 3, 5, 6, 7の1は点火直前、2は最も炎が上がった時点、3は白色PVC版より炎が浮かんだ時点、4は炎が消えた時点の動画からの静止画切り出しである。調製後、そのまま乾燥した硝化綿では、写真2, 3の炎が消えた後の4で、特に、写真3の、そのまま丸めた場合に、煙が残っているのがよく分かった。写真4では、白色PVC版の燃え残りによる汚れが、はっきり分かった。EtOH中に保存したもの

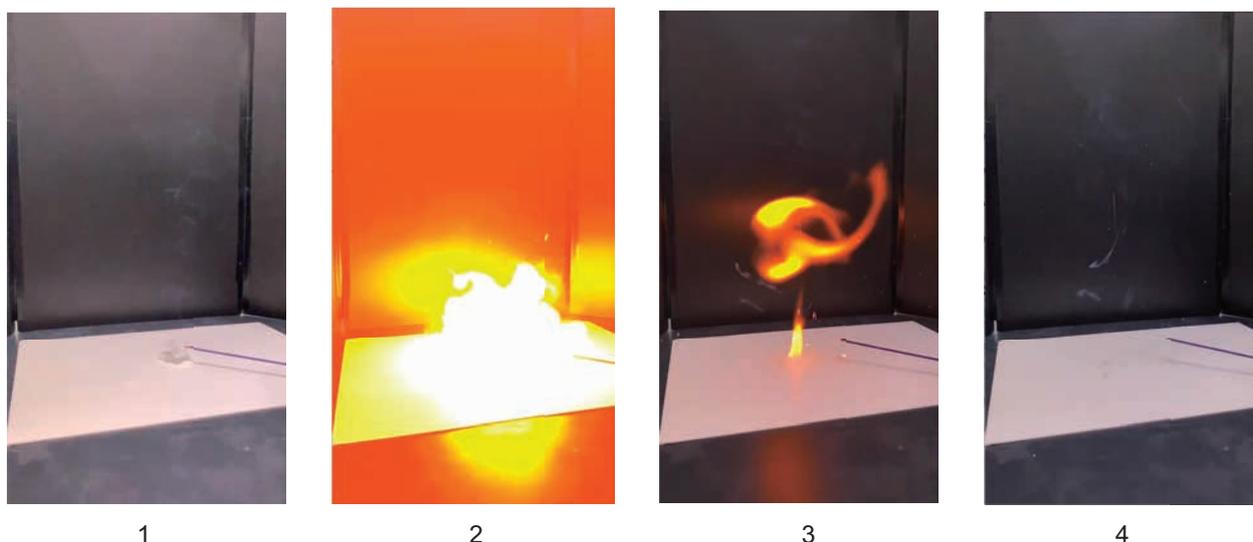


写真2 調製後、そのまま乾燥した硝化綿の燃焼。よくほぐしたもの (1-4)。

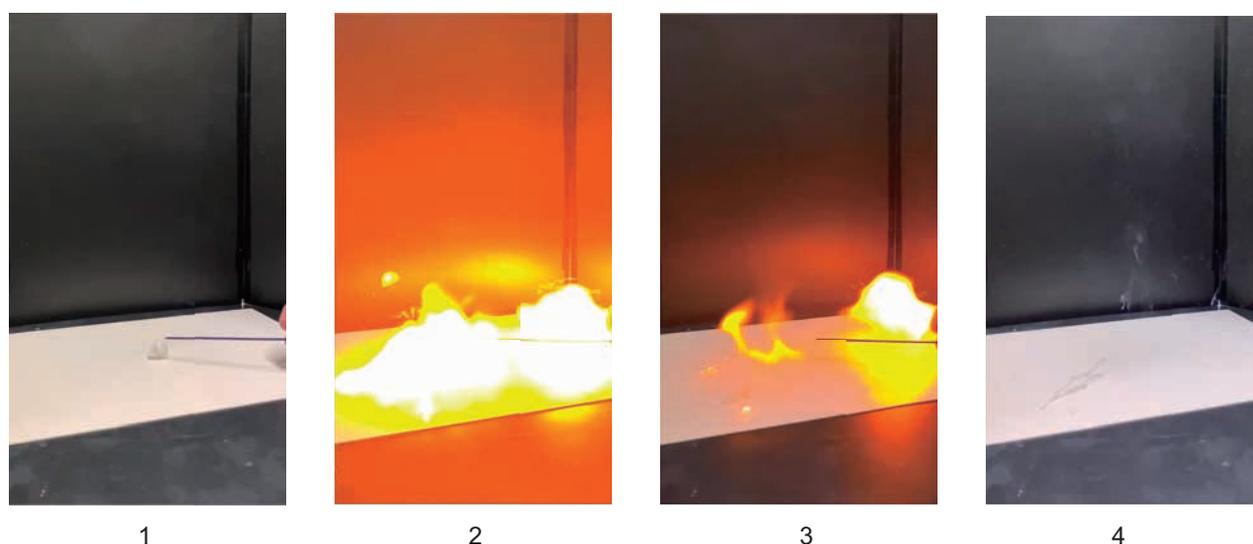


写真3 調製後、そのまま乾燥した硝化綿の燃焼。そのまま丸めたもの (1-4)。



写真4 調製後、そのまま乾燥した硝化綿の燃焼。
よくほぐしたものの燃え残り。

を、よくほぐしたものの写真5の4、及びEtOH/
Et₂O (1/2) で洗浄して乾燥し、よくほぐしたもの
の写真6の4、並びに、そのまま丸めたものの写真
7の4では、いずれも煙が出ない、又は僅かにしか
出ない (写真7) ことが分かった。写真7では熱し
たクリップを近付けて点火したので、線香の煙の
影響を排除できた。写真8はEtOH中に保存して
から乾燥した硝化綿の、よくほぐしたものの燃え
残りであるが、ほとんど汚れが見られなかった。

2) よくほぐした場合が煙や燃え残りが最も少なく、
穏やかに燃焼した。一方、丸めた場合は速く激し
く燃えるようになり、燃えるときに音が出たり、
飛び散ったりした場合もあり、煙や燃え残りが多
くなった。写真9は、EtOH/Et₂O (1/2) で洗浄
して乾燥したもので、よくほぐした場合と、そ
のまま丸めた場合とで、白色PVC板の燃え残りによ
る汚れを、EtOHを染みこませたキッチンペーパー



写真5 調製，乾燥後，EtOH中に保存してから乾燥した硝化綿の燃焼。よくほぐしたもの（1-4）。



写真6 調製，乾燥後，EtOH/Et₂O（1/2）で洗浄して乾燥した硝化綿の燃焼。よくほぐしたもの（1-4）。



写真7 調製，乾燥後，EtOH/Et₂O（1/2）で洗浄して乾燥した硝化綿の燃焼。そのまま丸めたもの（1-4）。



写真8 調製，乾燥後，EtOH中に保存してから乾燥した硝化綿の燃焼。よくほぐしたものの燃え残り。



写真9 調製，乾燥後，EtOH/Et₂O（1/2）で洗浄して乾燥した硝化綿の燃焼。よくほぐしたもの（左），及びそのまま丸めたもの（右）の燃え残りを拭いたキッチンペーパー。

で拭き取ったものである。よくほぐした場合の方が，汚れが少ないように思われた。

3) EtOH中に保存して乾燥した場合の方がEtOH/

Et₂O（1/2）より若干，煙や燃え残りが少ない？
ようにも思われたが，検討回数を増やして比較し直す必要があると思われた。

VII. 結論

混酸の調製では，十分水冷した濃硝酸に，濃硫酸を，時間を掛けて加えていくことにより，褐色の二氧化窒素ガス（NO₂）の発生の原因となる温度の上昇が抑えられることが分かった。混酸に脱脂綿を入れていく操作では，温度が余り上昇しないことが明らかになり，原料の脱脂綿の量を約19gから約29gに増やしても，反応前後の質量比からは従来の窒素量13.3%と同等の硝化綿が得られ，同様の燃焼を示した。

体験者の手の平の上で硝化綿を瞬間消滅させる際に，どのようにすれば安全に，熱さを感じないで硝化綿の燃焼を体験してもらうことができるかを調べる目的で調査を行った。煙や燃え残りが少なければ，熱くないと予想されたので，燃焼試験を行った結果。調製後，そのままより，EtOHに浸して保存した，又はEtOH/Et₂O（1/2）で洗浄した場合に，煙や燃え残りが明らかに少なくなり，硝化綿を，よくほぐした場合が煙や燃え残りが最も少なく，穏やかに燃焼することが分かった。

溶剤への溶解試験の結果，調製した硝化綿のEtOH/Et₂O（1/2）への可溶部分が3.7-3.8%あったことから，

硝化綿の窒素量の少ない部分がEtOH/Et₂O (1/2) やEtOHに溶解し、窒素量が多い部分が残ったため、また、ほぐした場合に完全燃焼しやすいので、煙や燃え残りが少なくなったと推測された。

最近、2020年度に調製した硝化綿48.88gが、4/21/2020からEtOH 840mL中で保存してあったのを見付けた。そこで9/17/2021に、このEtOH 500mLを回収し、減圧濃縮、減圧乾燥したところ、淡黄色油状のEtOH可溶物0.58gが得られた(写真10参照)。したがって、EtOH 840mL中にはEtOH可溶物が0.97g含まれていることになり、硝化綿48.88gにはEtOH可溶部分が2.0%あったことになる。EtOH保存中に溶解したことが確認できた。以上のことから、手の平の上で穏やかに燃やすには、実用上、EtOH中に保存したものを乾かし、よくほぐして使うのが良いことが確認できた。



写真10 硝化綿を保存してあったEtOHの減圧濃縮乾燥で得られたEtOH可溶物の残さ。

溶媒への溶解性からは、調製した硝化綿は窒素量13.1%以上の強綿薬に、窒素量10-12.8%程度の部分が混ざったものと推察された。別法で硝化綿の窒素量を測定する必要があると思われた。

ごく最近、名古屋大学で硝化綿の窒素量を各2回測定してもらった。その結果、EtOH未浸漬サンプル2種(11.89%, 11.92%), EtOH浸漬保存サンプル1種(12.27%)であった。既述の方法で調製した、EtOH未浸漬の硝化綿の窒素量は11.9%程度であることが分かった。これをEtOHに浸漬保存することで、窒素量が12.3%に上昇することが判明した。しかし、強綿薬(13%以上)までには至っていないことも明らかになった。以上のことから、これまでの燃焼結果が、よく説明できた。

VIII. 出前化学実験関係の演示法、実験法の改良

最後に、出前化学実験関係の演示法、及び実験法における重要な改良を記述する。

「瞬間消滅—魔法の綿」の演示法⁴⁾では以下の改良と重要な知見が得られた。

- ①最初に観客2名に出てきてもらい、最初の体験者1名には、手の平の上に硝化綿の代わりに、硝化綿と同じ形状にした、よくほぐした脱脂綿を載せ、線香の火を付けても煙が出て黒く焦げるだけであることを観客に見せている。間違えて魔法の綿の代わりに普通の綿を載せてしまった設定で演示している。
- ②その後、**ステンレス皿の上に、この脱脂綿を移し、ライター**の炎で火を付け、**脱脂綿が炎を上げてゆっくりと燃え、燃えた後に灰が残ることを見せて確認する演示を追加した。**
- ③その後、最初の1名には、手の平の上に硝化綿を載せ直し、線香の火で点火し、一瞬で炎を上げて消えるのを体験させる。次の1名にはライターの炎で熱したクリップで硝化綿に点火し、体験させている。ここで得られた重要な知見。

熱くないように、硝化綿を、ほぐしておく際に、絶対に硝化綿を、ほぐした手で、そのまま脱脂綿を、ほぐさない！脱脂綿に硝化綿が少しでも混ざると、線香の火で発火し、手の平の上で炎を上げて燃え上がる！硝化綿と脱脂綿は必ず別に保管する！

硝化綿鉄砲の実験法では、弾薬の充てん法を以下のように改良した。

- ①弾薬としては、硝化綿を、よくほぐしてから丸めたものを使用してきた。今回、よくほぐして丸めたものが激しく速くもえ、煙や燃え残りが比較的少ないという従来の方法を指示する実験結果が得られた。
- ②これまで、弾薬に点火するために導火線を使用してきたが、導火線が絡ませた弾薬から離れてしまい、点火に失敗することが有った。そこで**導火線を使用するのをやめ、直径0.3mm、長さ560mmの針金を半分に折り、弾薬の端を挟んで点火口の外に引っ張り出すことで弾薬へ直接点火が可能になった！**(写真11参照)。

「ニッケル忍者の木の葉隠れの術」⁴⁾では、実験を繰り返すと、溶液に加えていった6mol/L NaOH aqと6mol/L HCl aqの当量はずれていき、正しい変色を示さなくなった。そこで、実験開始溶液(NiSO₄•6H₂O 15.77g + H₂O 1000mL + エチレンジアミン10.82g + 6.00mol/L HCl aq 60.0mL)のpHを測定しておいた(pH 1.88)。4回実験後の溶液A, BのpHを測定したところ、1.32, 1.30であった。これらに6.00mol/L NaOH aq各10.0 mLを加えてpHを測定したところ、2.05と2.00になった。以上のことから、溶液のpHを測定し、元のpH 1.88に近づければ、当量からのずれが補正できることが分かった。

昨年度報告した、個別指導体験型の「水あめ作り」実験の改良⁷⁾についても、以下の更なる改良をした。

ジャガイモデンプン(カタクリ粉)80gで水あめを



写真 11 弾薬の充てん法。

調製する際に、乳酸カルシウム 0.40g を添加して糊化時の粘度を低下させ、混ぜる操作をやすくしていた。今回、乳酸カルシウムの添加量を 0.80g (食品添加物としての許容添加量 1% の上限に近い) に増量することで、0.40g 添加に比べ、より一層粘度が低下し、混ぜやすくなることが判明した。アクも一層、凝集しやすくなり、沸とう後 10-15 分で大量のアクが生成し、この時点でアク取りをすれば、後のアク取りは不要であった。得られた水あめの味も無添加の場合と差が感じられず、実験法を改良することができた。

主に密度の違い、及びバイルシュタイン試験により、6 種類のプラスチック (PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS) を識別する実験を文献⁸⁾ にならい、理科専攻でない学生向けに実施してきた。ただし、文献の酢酸エチル (0.90g/cm³, 20°C, HDPE, LDPE, PP が浮く)、酢酸メチル (0.93g/cm³) の代わりに、それぞれ 50% (w/w) EtOH 水溶液 (0.914g/cm³, 20°C)、40% (w/w) EtOH 水溶液 (0.935g/cm³, 20°C, LDPE が浮き、沈む HDPE と区別可) を使用することで、水、10% (w/w) 食塩水のほかに、使用する有機溶媒を EtOH のみとし、安全性を高めた。EtOH 水溶液は質量を量って混合することにより、調製が容易である。

IX. おわりに

コロナ禍で、出前実践が不可能になり、対面の卒業実験の指導も大きく制約される状況下ではある。しかしながら、近年、教員採用試験対策のみに追われ、試験が終了する 8 月末まで、実践や実験のトレーニングをして卒業研究のための準備をする時間を確保するのが嫌がったり拒否したり、さらに、せっかくの実践の

機会を放棄するような、教員としての将来を見据えた教育・指導に従おうとしない学生ばかりが見られるようになった。この「教採至上主義禍」が本学にもまん延しているようである。収束して将来の糧となる実践や卒業研究に十分な時間を掛けて取り組むことの大切さや価値を学生が実感できるような指導ができる環境になることを祈念する。

謝 辞

本研究は 2018-2021 年度科学研究費補助金基盤 C 一般 (課題番号 18K02934) により財政的に御支援いただきました。

硝化綿の窒素量を測定していただきました名古屋大学物質科学国際研究センター化学測定機器室の尾山公一博士に感謝いたします。

文 献

- 以下の Web サイト (2021 年 9 月 7 日閲覧)
愛知教育大学研究者総覧 > 理科教育講座 (化学分野) > 戸谷 義明 の「研究活動」、及び「社会活動」。
<http://souran.aichi-edu.ac.jp/person/bd4c9ab730f5513206b999ec0d90d1fbja.html>
- 戸谷義明, 山名賢治, 鈴木喜隆, “理科が役に立つことが実感できる化学教材実験集”, 愛知教育大学, 刈谷, 2012. ISBN : 9784903389592
- 戸谷義明, 山名賢治, 跡部昌彦, 鈴木喜隆, “理科が役に立つことを実感できる化学教材実験集 II ~ 個別指導体験型実験 ~”, 愛知教育大学, 刈谷, 2016. ISBN : 9784903389677
- 戸谷義明, 山名賢治, 鈴木喜隆, “理科が役に立つことを実感できる化学マジック実験集”, 愛知教育大学出版会, 刈谷, 2018. ISBN : 9784903389783
- 日本化学会編, “化学便覧 応用化学編 II 材料編”, 丸善, 東京, 1986, pp 1461-1462.
- 防衛庁規格 火薬用ニトロセルロース試験方法。
<https://www.mod.go.jp/atla/nds/K/K4823.pdf>
- 戸谷義明, 平岩大作, 愛知教育大学研究報告 2021, 70 (自然科学編), 24-32.
- 守本昭彦, 梶山正明, 化学と教育 1996, 44 (2), 112-113.

(2021 年 9 月 21 日受理)