

化学実験における基本操作習得に関する考察Ⅱ —ものづくりとしての種子からのろうそくづくり—

巻本 彰一・川上 貴之*

Consideration of the Acquisition of Basic Operations in Chemical Experiments
— Candle-Making From Seed as Manufacturing —

Shoichi MAKIMOTO and Takayuki KAWAKAMI

Accepted November 14, 2017

抄録：化学の基礎的な実験を精確に安全に行うには基本的な実験操作方法を習得することが必要であるが、理科領域においても実験操作に自信を持っている学生数が減少してきている、という実態がある。中学校・高等学校での授業時間が限られる中では、短時間で楽しく基本的操作が学べる実験内容が必要とされていると思われるので、今回は「油からろうそくづくり」という実験を整理し、内容を発展させることにより基本的な実験操作の習得ができるようにした。大学院授業で行ったところ大変好評であったので紹介する。

索引語：化学実験，基本的実験操作，種子，油，ろうそく

Abstract: In order to accurately and safely perform basic chemistry experiments, it is necessary to master basic methods of experimentation. However, because classroom lesson time in junior and senior high schools is limited, the number of students who have confidence in scientific experimentation is decreasing. In order to enhance students' knowledge and confidence in scientific experimentation, we shall propose a technique that does both, and stays within the confines of classroom lesson time. This paper will discuss an experiment called, "Making Candles From Oil". We will show that the relatively expeditious and uncomplicated process of making candles from oil gives students practice in basic experimental processes, enhances their confidence in scientific inquiry, and allows instructors time to fit the lesson into their classroom exercises

Key Words: chemical experiments, basic experimental operation, seed, candle, oil

* 兵庫県姫路市市役所

1. はじめに

中学校学習指導要領解説理科編¹⁾においては、「化学的な事物・現象についての観察、実験を行い、観察・実験技能を習得させ、観察、実験の結果を分析して解釈し表現する能力を育てる」と示されている。また、「観察、実験において事故を防止するためには、基本操作や正しい器具の使い方などに習熟させるとともに、誤った操作や使い方をした時の危険性について認識させておくことが重要である。」と示されている。さらに高等学校学習指導要領解説理科編²⁾において、「事故を防止するためには、生徒に基本操作や正しい器具の使い方などを習熟させるとともに、誤った操作や使い方をした時の危険性について認識させておくことが重要である。」と中学校学習指導要領解説と同様の記述がなされている。利安³⁾によると「学校において理科実験の際に発生した事象例の多くは、化学領域の実験の場合である。」という指摘がある。さらに、実験で事故を起こさないために「扱っている試薬や実験器具の基本的な取り扱いなどをよく知っておくこと。」という記述からも、化学実験において安全教育の重要性が理解できる。

実験の経験度については、それぞれが卒業した中学校や高等学校によって扱う実験の内容や、時間的な制限もあることから、その経験の量には個人差がある。本学の理科領域入学生においてでも、高等学校卒業時点で化学実験における実験器具の取り扱いや基本的な実験操作の経験にはかなりの個人差があり、また習得できていない実験器具の取り扱いや基本的な操作方法がある学生も多い。

現在、中学生や高校生は授業で行われる実験を通して実験器具や操作方法について学ぶことが多い。しかし授業では行う実験の内容について重点的に扱うことが多く、正しい実験器具の取り扱いや基本的な操作方法を身に着けさせることを目的に行うことはほとんどない。そこで上記の研究の背景に挙げたことを受け、ここでは基本的な実験器具の取り扱いや化学（理科）実験の基本操作について効果的に学ぶことが出来る実験例を考案したい。効果的な実験器具の取り扱いや基本的な実験方法の習得のためには、そのひとつひとつを独立的・断片的に学ぶよりも、生徒の興味や関心を引き付け、印象に残りやすいいくつかの実験を通して網羅的に学ぶことで、より基本操作が身に付き、また化学（理科）に対する興味や関心も喚起しやすいと考えられる。

取り上げる実験内容に関しては、伊藤⁴⁾によると「ものづくりを扱った授業では、子どもたちの関心・意欲が高まり、生き生きとした学習活動になるといえる。」と述べている。このことから興味関心を高めるには、授業でもものづくりを行うことが有効であると考えられる。また、化学（理科）実験で事故を防ぐための基本的操作を身に付けさせられ、さらに、内容としてもものづくりを取り入れて子どもたちの関心・意欲を高められるもの、ということができる。

本研究では主に中学生を対象に、ものづくりを通して実験の基本的操作を安全かつ網羅的に学ぶことができ、関心・意欲を高めることができる実験例として、「ピーナッツから油脂の抽出実験」⁵⁾と「サラダ油でろうそくづくり」⁶⁾を参考に、基本操作について学ぶことが出来ることと、さらに総合的学習にも使えるように発展させた実験例を考案し、それらの検証を行いたい。また考案した実験を本学大学院の理科教育教科内容論Ⅱで実施した結果についても併せて報告する。

2. 習得させるべき基本操作とアンケート調査結果

本研究の先行研究⁷⁾や「一目でわかる安全な小学校理科実験—基本操作ハンドブック—」⁸⁾を参考に以下の11種類の操作を本研究における基本的操作とした。

①加熱, ②冷却, ③ろ過, ④濃縮・蒸発, ⑤液性, ⑥ガラス器具の取扱い, ⑦試薬の量のはかり方, ⑧粉碎, ⑨攪拌, ⑩沈殿の完結・洗い方, ⑪抽出,

前回の報告では高等学校での化学基礎・化学の教科書に記載されている実験例に含まれる実験操作から, 次の12種類の操作⁹⁾(①加熱, ②冷却, ③ろ過, ④濃縮・蒸発, ⑤液性, ⑥ガラス器具の取扱い, ⑦試薬の量のはかり方, ⑧粉碎, ⑨攪拌, ⑩沈殿の完結・洗い方, ⑪滴定操作, ⑫分液漏斗を用いた抽出)にまとめたが, このうち, ⑪滴定操作はビュレットを用いること, ⑫分液漏斗を用いた抽出は分液漏斗という高等学校でしか扱わない特殊なガラス器具があるので, 中学生を対象とした今回の実験からは⑪滴定操作は省略することとし, ⑫抽出では「固体の液体による抽出操作」の経験のみを⑪抽出として訊ねた。

2014年度から2016年度までの3年度分の入学生と数人の過年度生が受講した本学の化学基礎実験(a)および(b)クラスの学生46人(2014年度), 47人(2015年度), 51人(2016年度)を対象に上記に挙げた化学実験の11種類の基本操作の経験とその習熟度に関する調査アンケートを行った。ここで習熟度とは, 「習得できた」を5, 「全く習得できていない」を1として5段階評価としたものであり, 「ほぼ習得できた」を4, 「普通程度」を3, 「ほとんど習得できていない」を2としてある。このアンケートは高等学校卒業時点での基本操作の経験と習熟度を調査するために2014年度から毎年行っているものである。表1に2015年度と2016年度の中学校理科および高等学校化学において学んだ基本的操作の経験度を, 表2, 3にそれぞれ2015年度と2016年度の高等学校卒業時点での基本操作別の習熟度アンケート調査結果を示した。また2014年度から2016年度までの3年度分の基本的操作の経験値とその平均値を表4に, 2014～2016年度の3年度分の各基本操作を習得していると回答した割合の平均値と習得していないと回答した割合の平均値を表5に示した。

表1 2015年度および2016年度の中学校理科および高等学校化学における基本的操作の経験度

基本的操作名	経験した		経験していない		経験した割合(%)	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
①加熱	47	50	0	1	100	98
②冷却	39	42	8	9	83	82
③ろ過	45	48	2	3	96	94
④濃縮・蒸発	44	44	3	7	94	86
⑤液性	44	46	3	5	94	90
⑥ガラス器具の取り扱い	46	49	1	2	98	96
⑦試薬の量のはかり方	41	43	4	8	87	84
⑧粉碎	22	23	25	28	47	45
⑨攪拌	27	21	20	25	57	41
⑩沈殿の完結・洗い方	19	17	28	34	40	33
⑪抽出	19	16	32	35	40	31

2015年度(N = 47), 2016年度(N = 51)

表 2 2015 年度生の高等学校卒業時点での基本的操作別の習得における
調査アンケート結果 (N = 47)

基本的操作名	5	4	3	2	1	5 または 4 の割合 (%)	2 または 1 の割合 (%)
①加熱	26	13	4	4	0	83	9
②冷却	9	17	11	6	3	55	19
③ろ過	9	26	9	3	0	74	6
④濃縮・蒸発	6	25	9	6	0	66	13
⑤液性	6	20	14	7	1	55	17
⑥ガラス器具の取り扱い	8	26	12	1	0	72	2
⑦試薬の計り方	6	16	17	7	1	47	17
⑧粉碎	2	9	11	14	11	23	53
⑨攪拌	3	15	13	7	8	38	32
⑩沈殿の完結・洗い方	2	13	4	16	12	32	60
⑪抽出	0	9	8	13	17	19	64

(5: 習得できた, 4: ほぼ習得できた, 3: 普通, 2: ほとんど習得できていない, 1: 全く習得できていない)

表 3 2016 年度生の高等学校卒業時点での基本的操作別の習得における
調査アンケート結果 (N = 51)

基本操作名	5	4	3	2	1	5 または 4 の割合 (%)	2 または 1 の割合 (%)
①加熱	17	24	6	3	1	80	8
②冷却	5	14	16	11	5	37	31
③ろ過	10	19	17	4	1	57	10
④濃縮・蒸発	7	19	15	6	4	51	20
⑤液性	10	14	16	6	5	47	22
⑥ガラス器具の取り扱い	9	20	18	2	2	57	8
⑦試薬の計り方	6	19	12	10	4	49	27
⑧粉碎	5	9	8	12	17	27	57
⑨攪拌	4	5	16	7	19	18	51
⑩沈殿の完結・洗い方	1	6	8	8	28	14	71
⑪抽出	3	4	7	6	31	14	73

(5: 習得できた, 4: ほぼ習得できた, 3: 普通, 2: ほとんど習得できていない, 1: 全く習得できていない)

表 4 2014-2016 年度の 3 年度分の基本的操作の経験値とその平均値

基本的操作名	2014 (%)	2015 (%)	2016 (%)	平均 (%)
①加熱	100	100	98	99
②冷却	89	83	82	85
③ろ過	96	96	94	95
④濃縮・蒸発	74	94	86	85
⑤液性	93	94	90	92
⑥ガラス器具の取り扱い	89	98	96	94
⑦試薬の計り方	85	87	84	85
⑧粉碎	39	47	45	44
⑨攪拌	67	57	41	55
⑩沈殿の完結・洗い方	52	40	33	42
⑪抽出	30	40	31	34

表 5 2014-2016 年度の 3 年度分の習得していると回答した割合とその平均値および
習得していないと回答した割合とその平均値

操作名	習得していると回答 (%)				習得していないと回答 (%)			
	2014	2015	2016	平均	2014	2015	2016	平均
①加熱	96	83	80	86	0	9	8	6
②冷却	69	55	37	54	9	19	31	20
③ろ過	78	74	57	70	4	6	10	7
④濃縮・蒸発	51	66	51	56	24	13	20	19
⑤液性	64	55	47	55	20	17	22	20
⑥ガラス器具の取り扱い	62	72	57	64	16	2	8	9
⑦試薬の計り方	47	47	49	48	33	17	27	26
⑧粉碎	31	23	27	27	60	53	57	57
⑨攪拌	53	38	18	36	1	32	51	38
⑩沈殿の完結・洗い方	31	32	14	26	49	60	71	60
⑪抽出	18	19	14	17	71	64	73	68

表 1 の結果から 11 種類の基本操作の内、加熱、ろ過、濃縮・蒸発、液性、ガラス器具の取り扱いの操作はほぼ全員が経験していたが、逆に少ないものを挙げると、粉碎、攪拌、沈殿の完結・洗い方の操作、抽出の操作の経験が少ないことが分かる。この結果は 2014 年度⁷⁾ とも同様であった。また高等学校卒業時点でそれぞれの基本操作の習熟度がどの程度かを調べた表 2, 3 においても、粉碎、攪拌、沈殿の完結・洗い方の操作、抽出の操作が 5 段階の内、2 (ほとんど習得ができていない) または 1 (全く習得ができていない) と答えた割合が多かった。この結果も 2014 年度⁷⁾ とも同様であった。

表 4 の結果から粉碎、沈殿の完結・洗い方、抽出については、経験している割合が 5 割を切っていることが分かる。粉碎、沈殿の完結・洗い方、抽出は小学校では行われている実験操作には含まれていない。実験実施率は小学校で 85.7%, 中学校では 68.1%¹⁰⁾, 高等学校化学の実験実施率は 20.3%¹¹⁾

と進学するにつれて低下している。それゆえ、小学校で行われている基本的操作は経験している割合が高いが、中学校以上で経験する粉砕、沈殿の完結・洗い方は、経験している割合が低くなっているのではないかと考えられる。また、表 5 からは粉砕、沈殿の完結・洗い方、抽出は 5 割以上の学生が習得できていない、という結果になっている。これは経験をしていないために習得できていない割合が高くなったものと考えられる。表 5 から濃縮・蒸発、試薬の計り方以外について 2014 年と 2016 年を比較すると、習得している割合が経年的に減少していることが分かる。2014 年に行った調査では旧課程の学生が対象であったが、2016 年に行った調査は現行課程（新課程）である。新課程では化学の内容が旧課程に比べて非常に多くなった。それゆえ、このような結果になったのは、新課程は旧課程と比べると、教科書のボリュームをこなすため講義の割合が増えて実験の回数が減り、操作経験の割合が減少した、という可能性が考えられる。

本研究で適した実験例としての条件としては、基本的な実験器具を使用していること、上記に挙げた 11 種類の基本操作の中に含まれるものが多く、理科や化学における実験の導入として短時間、かつ安全で簡単に行うことができ、生徒が興味を持ちやすいものが良いと考えられる。今回は次に示すように、啓林館の高等学校化学Ⅱ改訂版に掲載されていた種子から油脂を取り出すという実験例⁵⁾をものづくりとして発展させた実験例を考案した。種子に多量に含まれている脂質を溶媒で抽出し、その抽出された油脂を油固め剤で固化することによりろうそくを作成する一連の操作には、実験における基本操作が多く含まれており、ものづくりの楽しさとともに基本操作を再確認することができると思われるからである。

3. 実験方法とその結果

まず実験の前段階として、対象者が初心者である場合や練習で行う場合には、具体的な操作に入る前に器具の安全な取り扱い方、各操作の注意事項などを説明し、理解させたうえで実験を行わせることが必要である。実験内容は前半の「種子から油脂の抽出」と後半の「油固め剤によるろうそく作成」の 2 つからなる。時間がない場合は前半部分だけでも、種子には発芽のために大量の脂肪をため込んでいることが理解できるし、また後半では高等学校で習うコロイドに関連づけることができ、少量の分散質である油固め剤が網目構造を取り、多量にある油脂の分散媒を捉えていることを示すことができる。前半と後半は続けて行うことで考案されているが、時間に応じて取捨選択するとよい。もちろん中学生が対象の場合は実験を始める前に器具の安全な取り扱い方や注意事項などを必ず行う必要があると思われる。

以下の (1) と (2) の実験は、実験条件の不備等で生ずる問題点を調べるために行ったものである。

(1) 「マカダミアナッツからの油脂の抽出」

もとの教科書の実験で使われていた種子はピーナッツであったが、マカダミアナッツは約 2/3 以上の質量を油脂が占めていて、飽和脂肪酸が 100 g 当たり 10 g、不飽和脂肪酸が 59.8 g 含まれている¹²⁾。そのため、より多くの油脂が抽出できると考え、合同会社西友 SFK07 が販売しているマカダミアナッツ (Lot 番号 : P3567423) を用いた。栄養成分表示によると 50 g 当たり脂質が 37.3 g 含まれている¹²⁾。

試薬および必要な器具（数量は1グループ分で示してある）

乳鉢、乳棒、漏斗（×2個）、ろ紙、電子てんびん、ピペット（×2本）、薬さじ、薬包紙、300 mL ビーカー、100 mL ビーカー（×2個）、ヘキサン、蒸発皿（×2個）、漏斗台、マカダミアナッツ、ガラス棒、試験管（×2本）、メスコーン

<実験操作>

操作1：マカダミアナッツを25 g 計量し、乳鉢に入れ乳棒で細かく粉砕を行った。（図1）

操作2：操作1の粉砕試料をビーカーに移し、ドラフト内でヘキサン80 mLを加え、15分間攪拌を行った。ドラフト内で15分攪拌後ろ過を行った。このとき、ろ過する量が多いため漏斗を2つ用いてろ過を行った。

操作3：沈殿物に油脂が残っている可能性があるため、ヘキサン4 mLをかけ沈殿物を洗浄した。この操作を2回行った。（図2）

操作4：ろ液を蒸発皿に入れ、沸騰した湯を300 mL ビーカーに入れその上に蒸発皿を置きヘキサンを蒸発させた。（図3）ろ液が多かったため2回に分けて行った。抽出した油脂の質量を電子天秤で測定した。

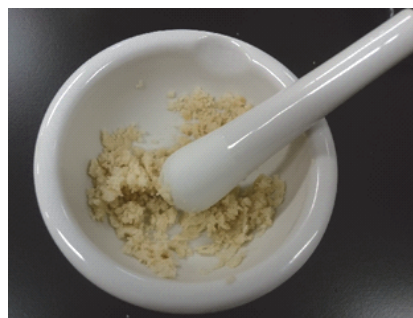


図1 マカダミアナッツの粉砕



図2 沈殿の洗浄



図3 溶媒ヘキサンの蒸発

<結果>

マカダミアナッツからの油脂の抽出実験ではマカダミアナッツ25 gから7.65 gの油脂を抽出することができた。今回用いたマカダミアナッツの栄養成分表示から、25 g中脂質が18.7 gであるので、得られた油脂の収率は約41%となった。

(2)「油固め剤によるろうそく作成」

「サラダ油でろうそくづくり」⁶⁾を参考にマカダミアナッツから抽出した油脂を用いてろうそくづくりを行った。油固め剤はジョンソン株式会社の「固めるテンプル」を用いた。「固めるテンプル」は唐ゴマ（ヒマ）から抽出したヒマシ油を原料にしている。分子構造による名称は12-ヒドロキシステアリン酸で、ヒマシ硬化油をケン化分解して得られる、融点約75℃のワックス状のヒドロキシ脂肪酸である¹³⁾。テンプルは油の中に溶けると冷却過程で、油を閉じ込めるような「カゴ状の三次元構造」を作る。液状の油がその組織の中に抱き込まれ、動けなくなっているのが固まった状態であり、油と油固め剤とは直接に化学変化を起こさないで、温度が上がるとカゴ状組織が壊れ、再び液状に戻る¹⁴⁾。

試薬および必要な器具（数量は1グループ分で示してある）

ガスバーナー，ホットプレート，300 mL ビーカー，油固め剤，温度計，抽出した油脂，メスコーン，割りばし，試験管（×2本），綿糸（タコ糸），ピペット，アルミカップ（5号）金網，ハサミ，三脚，蒸発皿

<実験操作>

操作5：マカダミアナッツから抽出した油脂 5 mL を湯せんし，約 90℃まで加熱を行った。

操作6：蒸発皿に油固め剤を 0.22 g 入れ，ホットプレート上で油固め剤を溶解するまで加熱を行った。

油固め剤が溶解したら加熱した油脂を入れ攪拌を行った。（図4）

操作7：図5のように綿糸（タコ糸）を垂らしたものを用意し，その中に攪拌したものを注ぎ，約10分間放冷を行った。（図6）

操作8：その後マッチに火をつけろうそくを燃やした。（図7）



図4 油固め剤との加熱混合

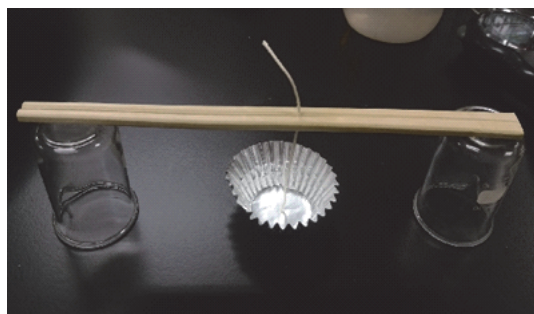


図5 ろうそく作成のための治具（型枠）



図6 油脂を流し込んだ直後の様子



図7 燃焼させている状態のろうそく

<結果>

マカダミアナッツから抽出した油脂と油固め剤を用いて作ったろうそくは約20分間燃焼したので，充分にろうそくとして機能を果たしている時間と考えられる。

4. 考察

実験前半で用いた実験器具は、乳鉢、乳棒、漏斗、ろ紙、電子てんびん、ピペット、葉さじ、葉包紙、ビーカー、蒸発皿、漏斗台、ガラス棒、試験管、メスコーンであり、操作として基本的な実験器具を用いることが出来た。下記に予備実験を行った時の操作上の問題点を記す。

操作1では教科書の図や記述から種子の量を決定したが、結果的には多すぎたようである。それは、(1) ろ紙を濡らすヘキサンを含めると 100 mL 近くヘキサンを使ったこと。それゆえ操作2で(2) 油脂の抽出実験のろ過に 60 分以上費やしたことである。その結果、操作4では使用したヘキサンを全て気化させるため、蒸気の吸入や気化したヘキサンの引火等に気をつける必要があった。また(3) 収率が約 41%と低い値になったことが問題点としてあげられる。克服すべき課題は、ヘキサンの使用量を減らし、時間の短縮と、収率の向上であった。

後半部分で用いた実験器具は、ガスバーナー、ホットプレート、ビーカー、温度計、メスコーン、試験管、ピペット、金網、三脚、蒸発皿であるので、操作として基本的な実験器具を用いることが出来た。下記に操作上の問題点を記す。

操作7では、油固め剤を混合した油脂を型枠に注ぎ込むが、同体積の油脂を流し込んだとしても型枠が横に広い（底面積が大きい）場合は、操作8でろうそくに火を灯しても、芯の近くだけしか燃焼に使われずに、すぐに火が消えたことがあった。一方、それを避けるために型枠の口径を小さくすると、油脂の流し込み操作が非常にやりにくくなることであった。

予備実験の結果からは、マカダミアナッツから 2 mL の油脂抽出を目的とすると、マカダミアナッツ 5 g からの開始でよいことになるので、全体の使用量を減少させると操作数の減少とスピードアップが可能になると思われた。ヘキサンの使用量については、教科書のピーナッツ 20 粒にヘキサン 30 mL の記述から、ピーナッツ 20 粒の質量は測定により約 18 g であるので、マカダミアナッツ 5 g に対してはヘキサン 8 mL でよいことになる。実際にその量で行うと攪拌中にペースト状になったので、ヘキサン 10 mL で行うこととした。

ろ過の方法を自然ろ過から吸引ろ過に変更すると、5 分程度でろ過が完了した。ヘキサンの使用量もろ紙を濡らすのに 4 mL、沈澱の洗浄に 3 mL、洗浄を 2 回行ったので、油脂の抽出に必要なヘキサンの量は 20 mL となり、ヘキサンの量を 1/5 まで減らすことに成功した。もし吸引ろ過の設備がない場合は、自然ろ過で行ったとしても、ヘキサンの総量は 10 mL なので、約 15 分程度でろ過は完了する。

油脂の量を 5 mL から 2 mL と減らしてろうそくをつくることができないか検討を行った。使うアルミカップをより小さいものとし、型枠の中に油が注ぎ易くするために、あらかじめアルミカップの底に瞬間接着剤をつけ、タコ糸を接着することにした。瞬間接着剤は 1 滴より多くするとタコ糸に瞬間接着剤がしみ込み、ろうが芯を伝わらなくなるので、半滴程度がよいと思われる。そこにタコ糸を垂らしてしばらく放置し、余分な糸の部分をハサミで切り取ると油 2 mL でもろうそくをつくることのできた。

以上の改良点を実験内容に反映させると以下ようになった。

「マカダミアナッツからの油脂の抽出」

試薬および必要な器具（数量は 1 グループ分で示してある）

マカダミアナッツ、ヘキサン、メスコーン（2 個）、100 mL ビーカー、300 mL ビーカー、攪拌棒、

ろ紙，吸引びん，ブフナー漏斗，乳鉢，乳棒，試験管（4本），ウォーターバス，温度計，蒸発皿，薬さじ，電子てんびん，ピペット（2本）

<実験操作>

操作1：マカダミアナッツ 5.0 g を乳鉢に入れ乳棒ですりつぶす。

操作2：乳鉢ですりつぶしたものに，ヘキサン 10 mL を加え，5 分間すりつぶしながら攪拌する。

操作3：ブフナーろうとを吸引びんにセットし，ろ紙をのせ，ヘキサン 4 mL でそのろ紙を濡らし，操作2で5分間攪拌したものを吸引ろ過をする。（図8）ろ過後ヘキサン 3 mL で沈殿物を洗い，試験さじ等でこしとるように沈殿物を押さえ，脂分をこしとる。（図9）沈殿物を洗う操作を2回行う。

操作4：沸騰した湯を 300 mL ビーカーに入れその上に蒸発皿を置き，ろ液のヘキサンを蒸発させる。ウォーターバスを使用してもよい。ヘキサンが蒸発したら，メスコーンで油脂の体積を測定する。



図8 吸引ろ過の操作



図9 沈殿物の洗浄操作

<結果>

抽出した油脂の質量は 2.43 g，体積は 2.7 mL となった。（表6）本研究で用いたマカダミアナッツの栄養成分表示から，種子 5.0 g 中に 3.7 g が油脂であるので，収率は約 66% となった。

表6 マカデミアナッツ 5g からの油脂の抽出量と体積

回数	質量 (g)	体積 (mL)
1	2.77	2.8
2	2.58	2.8
3	2.35	2.6
4	2.00	2.5
平均	2.43	2.7

「油固め剤によるろうそく作成」

試薬および必要な器具（数量は1グループ分で示してある）

アルミカップ、タコ糸、試験管（大）、ピペット、ガスバーナー、三脚、金網、マッチ、蒸発皿、300 mL ビーカー、ホットプレート、温度計、テンプル、薬さじ、電子てんびん、軍手、抽出した油脂 2 mL

実験操作

操作5：抽出実験で抽出した油脂の2 mL を湯浴し、80℃まで加熱をする。

操作6：テンプル 0.05 g を計り蒸発皿に入れ、ホットプレート上で溶けるまで加熱をする。油固め剤が溶解したら、操作5で加熱した油脂を蒸発皿の中に注ぐ（ホットプレートを使わずにガスバーナーを用いて蒸発皿で加熱をしてもよい）。

操作7：ホットプレート上で3回ほど円を書くように回し、型枠中に流し込む。

＜結果＞

製作したろうそくは約10分間燃え続けたので、ろうそくとして十分な時間と思われる。

前半と後半の実験を合わせると、ガスバーナーや試験管、蒸発皿、ピペットなどの基本的な実験器具を用いており、また、基本的な操作11項目のうち液性以外の基本的操作を行うことができた。これは油脂が極端な疎水性であるため、小中学生が知っているリトマス紙による検出ができないことによる。逆に液性検査をしてみて、液体なら何でもリトマス紙による検査ができるわけではなく、水溶液でなければ検査できないことを教えるのも有益ではある。また吸引ろ過を行うことで収率が66%となった。これは吸引ろ過を行うことで吸引力が大きくなり、ろ紙に残る油脂が減ったことによって収率が向上したと考えられる。また、ろ過時間は約5分に短縮することができた。

ろうそくづくりでは図5のような型を使うことで操作性が向上し、芯が真っ直ぐ立つことによって燃焼時間が安定するようになった。また、ろうそくは極端な疎水性であるため油性色素で着色できる。クレヨンでの着色例⁶⁾もあるが、メチルイエローも油性色素であるので、前半の実験で得た油脂を後半の実験に用いる際にメチルイエローで着色したところ油脂は着色し（図10）、後半のろうそく作成を行うと黄色のろうそくを作ることができた（図11）。このように疎水性の色素で着色した油脂でもろうそくを作り、同様に燃焼させることが可能であることが分かった。油脂に溶ける染料を用いて着色することで生徒の興味・関心をより高めることができると考えられる。

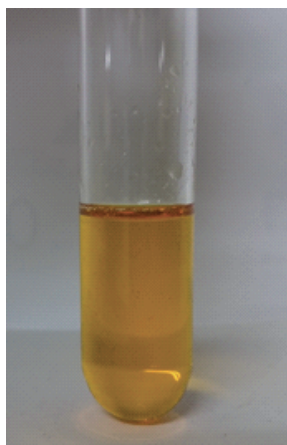


図10 メチルイエローで着色した油脂



図11 着色した油脂で作ったろうそく

5. 基本的操作習得に対する有用性

本実験はガスバーナーや漏斗、試験管など基本的な実験器具を用いており、また基本操作として挙げられる 11 種類の項目の内、液性の測定を除いて、全ての操作を行うことができた。また前半部分だけの実験を行っても、生徒にとって身近である種子が、発芽・成長に必要なエネルギーや同化のための素材として脂肪を大量に含んでいることは、生物での代謝過程を理解させる実験例ともなるだろう（好気呼吸をする生物は、通常糖をエネルギーや同化のための素材として使うが、植物では TCA サイクルをバイパスするグリオキシル酸サイクルを持っているので、脂肪から糖を生成することができる）。それゆえ、生徒が興味や関心を持ちやすい教材であると考えられる。

高校生に教える場合であれば、総合的学習としてさらに発展させることができる。1 つの発展は、脂肪が不飽和の二重結合を持っているので、臭素化をすることで二重結合を持つ分子の割合を知る方法である。次の発展は、アルカリでけん化を行うことで、脂肪の平均分子量を知る方法である。それらは、石鹸作りとも関係させることができるだろう。

本実験は、実験をするだけなら、前半部分と後半部分で 50 分間の授業 1 コマで実験を行うことができる。しかしもう 1 コマ増やして 2 コマで実験を行う方がよい。それは、実験操作の説明や用いる器具の説明を、どれだけの時間を割いて行うかや、どのような説明を行うかは、実施する教員、または実験を行う生徒のレベルによって異なると考えられるが、実験操作や器具の扱い方、行う実験の内容について生徒に説明を終え、理解させる段階を含めて、授業 2 コマで行うのがよいであろう。特に実験前の説明の中では、基本操作の 1 つ 1 つを生徒に説明をし、理解させようで行わせる必要がある。中学校や高等学校では授業で実験を行う際、全 30 ～ 40 人ほどの内、4 人 1 班単位で 8 ～ 10 班で行うことが多い。人数や班が多く、全体への説明の共有が難しいため、教員 1 人が全員に実験器具の扱い方や操作方法を説明する際は、基本操作を生徒に行わせるうえで、その操作ごとに、加熱の操作ではガスバーナーの使用法や注意点などを投影機やプロジェクターなどで教員の操作をスクリーンに映し、生徒全員に共有させ、理解させるとよい。

授業実践であるが、2017 年 1 月 10 日に大学院理科教育教科内容論Ⅱの授業において 2 名の大学院生に対して前半と後半の実験全てを行った。説明時間を含めた全所要時間は約 50 分であり、その後アンケートを行った。

実験アンケートにおける記述を要約すると、以下の通りであった。

- ・安全性については、危険な操作は特になく、湯浴によって引火を防ぐことができるし、試薬についても危険には感じなかった。
- ・操作性については、難しい操作は特になく、スムーズに実験を進めることができた。
- ・中学生の興味を引くかについては、油分を含む食品からろうそくが作れるということは興味関心につながるし、マカダミアナッツからろうそくをつくるという日常的なもののなので興味を持ちやすい、と思われる。

6. 結論

以上よりこの種子からのろうそくづくり実験は、実験例の条件として挙げた基本的な実験器具を使用していること、各操作で11種類の基本操作の中に含まれるものが多く、理科や化学における実験の導入として短時間、かつ安全で簡単に行うことができ、生徒が興味を持ちやすいもの、という条件に適したものであると考えられる。このことから中学生が化学分野の理科実験の導入として実験器具や正しい基本操作について学ぶことができる実験例として適当であると考えられる。また高校生には総合的学習のよい課題となっていると考えられる。

参考文献

- 1) 文部科学省『中学校学習指導要領解説理科編』2008, p.24.
- 2) 文部科学省『高等学校学習指導要領解説理科編』2009, p.12.
- 3) 利安義雄「学校における化学実験の安全に関する現状と課題」『化学と教育』44(5), 1996, pp.290-293.
- 4) 伊藤直子「理科教育におけるものづくり活動の目的と効果」三重大学, 修士論文, 2014.
- 5) 齋藤烈ら編著『化学Ⅱ改訂版』啓林館, 2007, p.157.
- 6) 「サラダ油でろうそくづくり」, <http://rika-kyouzai.sakura.ne.jp/kyouzai30.html>
- 7) 巻本彰一, 大久保彰人「化学実験における基本操作習得に関する考察ー総合的学習としての醤油から食塩の分離実験ー」京都教育大学紀要, 131, 2017, pp.123-134.
- 8) 中村次郎ら「一目でわかる安全な小学校理科ー基本操作ハンドブッケー」東洋館出版, 1991.
- 9) 安全な理科実験・観察ハンドブック作成委員会編(高等学校化学)「安全な理科実験における基本的な注意事項」佐賀県教育センター研究紀要, 2004. p.5-26. http://www.saga-ed.jp/kenkyu/kenkyu_chousa/kenkyu_kiyo_index.htm, (2015年1月20日アクセス)
- 10) 神鳥和彦, 神野翔「大阪府柏原市公立小学校における理科実験の実施状況調査結果」大阪教育大学紀要, 57(2), 2009, p.113-122.
- 11) 山路裕昭ら「高等学校理科における観察, 実験の現状について」長崎大学教育学部紀要教科教育学, 46, 2006, p.77-86.
- 12) 「オーストラリア・マカダミア協会」HP, <http://australian-macadamias.jp/about/nutrients>
- 13) 伊藤製油株式会社 HP, <http://www.itoh-oilchem.co.jp/product/pdct02.html>
- 14) ジョンソン株式会社 HP, http://johnson.co.jp/customer/faq/tempuru.html#num1_1

