

報 告

物質工学実験 1 (物質工学科一年生「化学実験」) における実験テーマ改善の取り組み

新井田聖次¹・星井進介¹・荒木秀明²

¹教育研究技術支援センター (Technical Support Center for Education and Research, Nagaoka National College of Technology)

²物質工学科 (Department of Materials Engineering, Nagaoka National College of Technology)

IMPROVEMENT OF EXPERIMENTAL THEME ON EXPERIMENTS IN MATERIALS ENGINEERING 1

Seiji NIITA¹, Shinsuke HOSHII¹, Hideaki ARAKI²

要旨

長岡工業高等専門学校物質工学科では、1年生から5年生までの各学年において学生実験(物質工学実験)を行っている。特に1年生で実施される物質工学実験(化学)は、基礎的かつ重要な実験項目や技法を修得する実験と位置付けられる。一般に化学系実験で定量分析を行うときには、0.0001g までをはかることのできる直示天秤を使用する。その使用方法を身につけるための実験を一年生時に行っている。以前は、四塩化炭素の分子量を測定する実験を行っていたが、四塩化炭素の毒性とともに、実験にかかる時間が2時間以上と長いことが問題であった。そこで、比較的安全性を有し、かつ1時間程度でできる実験が必要になった。一方、2年生の実験の際、こぼれた水酸化ナトリウムが溶けた潮解の現象を見て驚く学生がいた。そこで、水酸化ナトリウムが潮解するときの質量変化を利用した直示天秤の実験を組み立てることに取り組んだ。

Key Words : *direct-reading balance, safety improvement, a reduction in experiment time, deliquescent of sodium hydroxide*

1. はじめに

長岡工業高等専門学校(以下、本校と記す)は、教育理念として「人類の未来をきりひらく、感性ゆたかで実践力のある創造的技術者の育成」を掲げ、理論と併せて実践的な技術を修得させるために実験実習を重視した教育が行われている。本校物質工学科は、社会の情勢の変化に伴い、より高度で幅広い知識と技術を持つ技術者の育成が求められていることから、新しい材料の開発と生産に対応した「材料工学コース」と、生物機能を物質生産に応用することに対応した「生物応用コース」の2コースを設け、豊富な実験実習を通

じて、幅広い活躍を行うための十分な基礎学力と高度な技術を備えた質の高い実践的技術者の養成を目指している¹⁾。

物質工学科1年生から5年生までの準学士過程における到達目標は、「物質工学科の主要分野である分析化学、無機化学、有機化学、材料科学、化学工学、物理化学、生物化学などの基礎知識を習得し、それらを物質工学の問題解決に応用できる能力を身につけること」である。これら主要分野に関わる実験は、2年生で分析実験を、3年生で無機化学、有機化学及び生物化学実験を、4年生で物理化学実験を行うなど、2年生以上の学年において実施される。そして、1年生に対

して実施される物質工学実験（化学）は、これら物質工学科の主要分野に関する諸実験の受講に先立ち、2年生以降の実験にも共通する基礎的な実験項目や技法を学修するものである。いわば、物質工学的素養を有する人材陶冶の礎として、1年生に対する物質工学実験（化学）を位置づけることができる。

本報告では、物質工学系分野に必須の基礎的な実験技術や知識の修得において重要な意味を有する1年生の物質工学実験（化学）の目的と概要をシラバスなどの資料をもとに概説する。さらに、実験の安全性や円滑な実験運営の観点から、物質工学実験（化学）の新規実験テーマの開発を試みた事例報告を行う。

2. 物質工学実験（化学）について

2. 1 物質工学実験（化学）の概要

物質工学科では4年次から材料工学コースと生物応用コースに分かれて学習する。1年生が履修する物質工学実験（化学）では、両分野に共通する基礎的な実験内容が精選されている。本実験の目的は、物質工学系分野における基礎的かつ広義な実験項目の実践を通じて、化学反応のメカニズムや理論を修得することである²⁾。

この物質工学実験（化学）の内容は、(1) 実験で使用する器具等の取り扱いと基礎的な実験手法の習得、(2) 分析・無機系実験、(3) 有機・生物系実験の3つに大別することができる。以下に、それぞれの実験内容を記す。

(1) 実験で使用する器具等の取り扱いと基礎的な実験手法の習得

内容：器具の洗浄方法、ガスバーナーの使用法、上皿天秤及び直示天秤の使用法、ガラス細工、濾過操作ならびに蒸留操作の習得

化学薬品を扱って精確な実験をする上で、清浄な器具を使用することは必須である。また、ガスバーナーや天秤は化学系実験をする際に頻繁に使用する器具であり、使用法の習熟が必要である。そして、濾過や蒸留といった基礎的な実験操作や技術を正しく身につけることで、今後行われる各種実験を的確に、かつ安全に実施できるようになることが期待される。

(2) 分析・無機系実験

内容：水の電気分解、金属ナトリウムの性質、アンモニアの生成と性質、化学薬品の潮解性と風解性、マグネシウムの原子量算出、硫酸銅溶液の電気分解、中和滴定、金属のイオン化傾向とボルタ電池

化学系実験の実施にあたっては、気体反応の法則やファラデーの法則、ボイル・シャルルの法則などの理論に基づいた化学変化の意味を知ることが重要となる。また今後、各分野における、より専門的な実験を行うに際して、実験で使用する化学物質の性質や実験器具の取り扱いに習熟することが必要となる。これらの実験テーマを通じて、化学反応に関する理論ならびに化学物質の特性に関する理解を深めることが求められる。

(3) 有機・生物系実験

内容：アルコール及びフェノールの性質、炭水化物（デンプン）の性質、タンパク質とアミノ酸の性質

これら有機・生物系の実験は、3年生の後期に実施される有機化学実験及び生物化学実験に関連するものとして位置づけられ、当該分野に関する実験の基礎となる。ここでは、有機・生物系実験で使用される各種化学物質の特性を把握し、それらの反応の仕組みや取り扱いを学修することが目的となる。

そして、学生に対しては、実験を実施するにあたっては事前に実験遂行のためのフローチャートを作成して、実験内容を十分に理解してから取り組むことを注意事項として挙げている。また、このような注意事項と併せて、実験中は常に白衣ならびに保護メガネを着用すること、実験内容を注意深く観察して記録すること、実験終了後はレポートを作成して期限までに提出すること、などを実験の心得として指導している。さらに実験遂行に際しての最低限必要な安全と環境保全上の注意として、実験で生じた有害廃液の処理法、ケガや事故に対する対処法などに関する説明を行っている。

2. 2 物質工学実験（化学）と学習・教育目標との関連

本校では前述の教育理念のもと、教育目標と学習・教育目標が定められている³⁾。準学士過程の教育目標と学習・教育目標を表-1に示す。

物質工学実験（化学）は、学習・教育目標の(D)“工学の専門知識とものづくりのスキルをかね備え、情報技術を駆使できる技術者の育成”と主体的に関わるものである。そして、当該実験における到達目標と学習・教育目標との関連は表-2のとおりである。

3. 物質工学実験（化学）における新規実験テーマの開発

一般に化学系実験で定量分析を行うときには、0.0001gまではかることのできる直示天秤を使用する。

表-1 本校の準学士過程の教育目標と学習・教育目標

教育目標	学習・教育目標
(A) 人類の福祉と地球環境に配慮できる人間性と倫理観を持った技術者の育成	(a1) 人文・社会科学に関する基礎知識を学習し理解すること.
	(a2) 工業技術と社会, 自然環境の係わりについて学習し理解すること.
	(a3) 技術者として備えるべき社会的倫理を学習し理解すること.
(B) すぐれたコミュニケーション能力と国際的視野をもち, 多様な価値観を理解できる技術者の育成	(b1) 日本文化についての知識を身につけるとともに多様な国際文化を理解すること.
	(b2) 日本語による卒業研究や実験実習の報告書の作成及び発表・討論ができること.
	(b3) 多様な国際文化を理解し, 英語による基本的コミュニケーション能力を身につけること.
(C) 早期技術者教育の特長を生かし, 科学と技術の基礎を身につけた, 健全で創造性ゆたかな技術者の育成	(c1) 工学の基礎となる数学, 物理学, その他の自然科学の内容に関する基本的な問題が解けること.
	(c2) 工学の基礎知識が, 実際の技術分野でどのように関わっているかについて学習し理解すること.
(D) 工学の専門知識とものづくりのスキルをかね備え, 情報技術を駆使できる技術者の育成	(d1) 専門工学の基礎事項について学習し, 基本的な問題が解けること.
	(d2) 専門分野の問題解決に必要な装置やソフトウェアなどの工学的ツールについて学習し理解すること.
	(d3) 実験実習を通してものづくりの基礎知識と技能を身につけること.
	(d4) 実験報告書作成を通して, 情報技術の習得及び情報検索能力を身につけること.
(E) 多面的思考力と計画力をもち, 課題の解決と技術の開発を実行できる技術者の育成	(e1) 特定の専門科目だけでなく境界分野科目についても学習し理解すること.
	(e2) 与えられた課題に対して, 解決するために必要な事柄に対する知識と解決手法を身につけること.
(F) 地域の産業と社会に連携し, 時代の要請に応えられる実践力のある技術者の育成	(f1) 企業等での実習体験を通して, 技術者としての心構えや必要とされる技術的知識を理解すること.
	(f2) 体験報告書を通して, 社会に役立つ技術者として備えるべき能力について考察できること.
(G) 自発的学習能力を身につけ, 継続的に自己啓発のできる技術者の育成	(g1) 工学的課題について, 必要な情報や資料等を自発的に収集する能力を身につけること.
	(g2) 与えられた技術的課題の解決を通して, さらに幅広い技術的知識を得る能力を身につけること.

表-2 物質工学実験(化学)の到達目標と本校の学習・教育目標との関連

物質工学実験(化学)の到達目標	学習・教育目標との関連
1. 実験のフローチャートの記入方法を身につける	d2
2. 基本的な実験操作の手順を理解する	d3
3. 基本的な化学反応のメカニズムを理解する	d1

その使用法を身につけるための実験を一年生時に行っている。以前は、四塩化炭素の分子量を測定する実験を行っていたが、四塩化炭素の毒性とともに、実験にかかる時間が2時間以上と長いことが問題であった。そこで、比較的安全性を有し、かつ1時間程度でできる実験が必要になった。一方、2年生の実験の際、こぼれた水酸化ナトリウムが溶けた潮解の現象を見て驚く学生がいた。そこで、水酸化ナトリウムが潮解するときの質量変化を利用した直示天秤の実験を組み立てることに取り組んだ。

3. 1 予備実験

資料4によると、「水酸化ナトリウム (NaOH) の固体を空气中に放置すると、水蒸気を吸収して溶ける (潮解)。潮解した水酸化ナトリウムは二酸化炭素 (CO₂) を吸収して炭酸ナトリウム十水和物 (Na₂CO₃ · 10H₂O) になり、析出する。それは乾いた空气中で水和水を失い (風解)、炭酸ナトリウム一水和物 (Na₂CO₃ · H₂O) の白色粉末になる。」とあった。そこで、潮解の質量増加だけでなく風解の質量減少も測定できないか検討することにした。また、ただ質量の変化を直示天秤ではかるだけでは、低学年の学生にとっては面白くないのではと思い二酸化炭素を吸収したか確認する定性実験も併せて行うことにした。

最初に、水酸化ナトリウムを秤量瓶へ入れ、外気に触れるように蓋を開けた状態で放置し質量の変化を測定した。比較のため、蓋を閉めたものも用意して測定した。

水酸化ナトリウムを放置するとまわりが濡れ、1時間ほどで液体が現れた。3日放置すると完全に液体状となり秤量瓶全体に広がった、4日目には液体状のものは無くなり、結晶状のもので覆われた。それ以降は、外見上の変化はみられなかった。(図-1)

質量比の経時変化を図-2に示す。ここで、質量比を式(1)とした。

$$\text{質量比}[\text{g/g}] = \frac{\text{ある時点で測定した質量}[\text{g}]}{\text{開始時に測定した質量}[\text{g}]} \quad (1)$$

水酸化ナトリウムの質量の変化は増加が確認でき、2日目に質量が3倍以上になりピークを迎えた。それ以降質量は減少し、14日以降はあまり質量が変化しなくなったので18日目で終了した。

潮解による質量増加は速かったが、風解による質量減少については非常に時間がかかった。以上より、学生実験では潮解のみを利用することにした。

次に、14日目から18日目にかけて質量に変化があまりみられなくなったので、炭酸ナトリウムに変化したのか塩化バリウム水溶液を加えて調べた。(図-3)

炭酸ナトリウムが生成した場合、塩化バリウムとの反応で溶液が白濁することにより、炭酸ナトリウムの存在を確認できる。

蓋を開けたままにしたものでは、真っ白に濁り、蓋を閉じたままにしておいたものは、薄く白濁した。このことから、蓋を開けたままにしたもの、閉じたままにしておいたものともに、二酸化炭素を吸収したことがわかるが、濁り具合から、吸収した二酸化炭素の量に違いがあることがわかる。

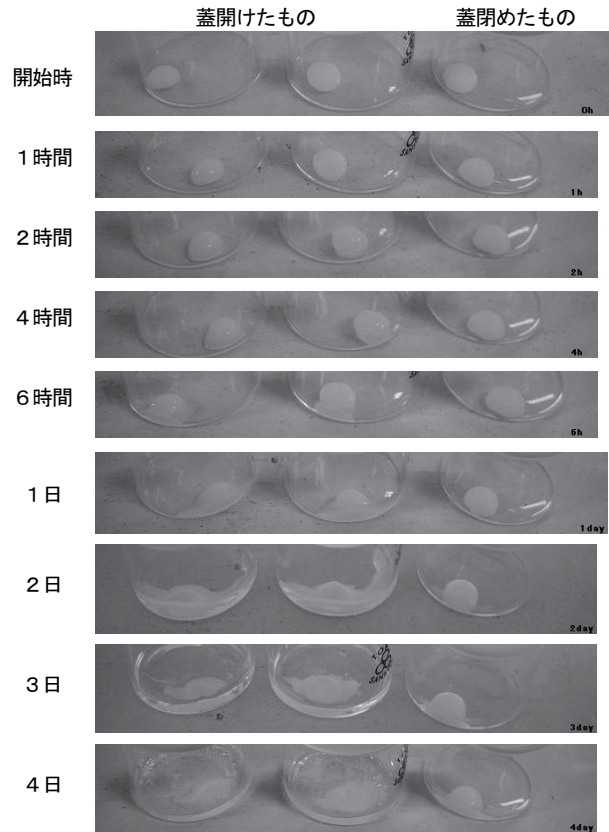


図-1 水酸化ナトリウムの潮解による変化

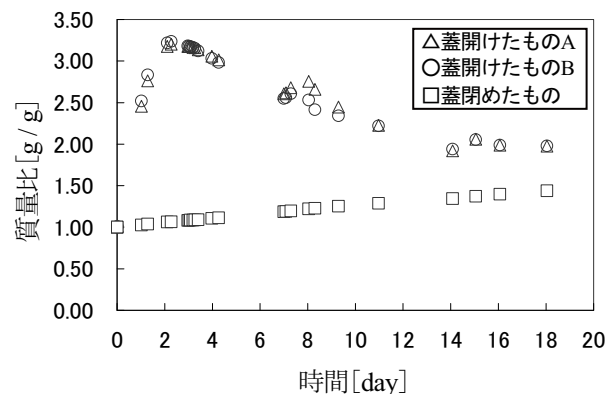


図-2 水酸化ナトリウムの潮解による質量変化

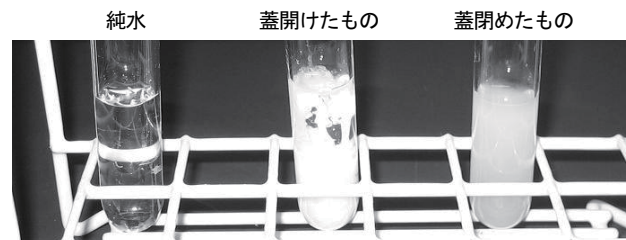


図-3 塩化バリウム水溶液との反応

その違いをみるため、滴定(ワーダー法)で水酸化ナトリウムと炭酸ナトリウムの質量比を調べた。蓋を開けたままにしたもの(2種類:AとB)では、Aでは $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{CO}_3=12:88$, Bでは $16:84$ となり、完全に水酸化ナトリウムが炭酸ナトリウムに変化したわけではなかった。また、蓋を閉じたままにしておいたものは、 $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{CO}_3=84:16$ と水酸化ナトリウムの一部が炭酸ナトリウムに変化していた。

3.2 学生実験

学生実験で行う条件である1時間程度で質量の変化が出てくるか調べ、そして、塩化バリウム水溶液を用いて二酸化炭素を吸収したか調べた。

学生実験と同じ条件である30分間の放置でも、蓋を開けたままにしたものは質量が5%ほど増加し、蓋を閉じたままにしたものと比べ違いが明らかである。(図-4)予備実験における塩化バリウム水溶液を用いた炭酸ナトリウムの検出では、両方ともほとんど白濁せず、両者の違いがはっきり分からなかった。しかし、学生実験では、実験室に学生が多いため空気中の二酸化炭素も増加し、両方とも白濁した、特に蓋を開けたままにした方が濃く白濁していた。(図-5)

3.3 結論

毒性をもち有害な蒸気を発生する四塩化炭素を使用しない実験の組み立てを目的の1つとし、新規実験テーマの開発に取り組んだ。この実験で使用した水酸化ナトリウム、塩化バリウムはともに劇物であるが、これらは有害な蒸気は発生せず、保護眼鏡を着用し、注意して扱えば安全性に問題のない薬品である。また、実験時間は合計1時間ほどに短縮でき、潮解の質量的変化を観測することもできた。そして、水酸化ナトリウムが潮解する際に空気中の二酸化炭素を吸収することも確認できた。以上より、この実験は、四塩化炭素を用いる実験に代わる直示天秤の使用法を学ぶ新たな実験テーマとして有効であるといえる。

3.4 今後の課題

学生の提出したレポート(40人)において、質量増加の原因が、“潮解により水を吸収した”と正しく書いていたのが13人しかおらず、“二酸化炭素の吸収による”と誤って書いてあるものが26人と多く見られた。原因は、塩化バリウム水溶液の反応を利用した炭酸ナトリウムの検出の実験を行ったが、水の検出の実験を行わなかったためである。

水酸化ナトリウムの潮解を伴う化学反応を学生に正しく理解させるため、今後は、硫酸銅無水和物を利用

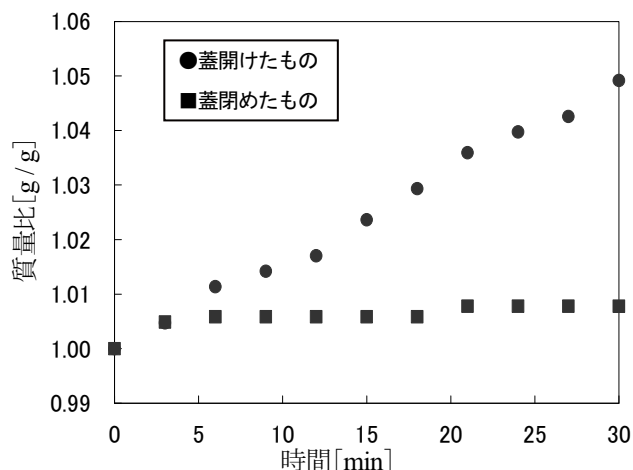


図-4 水酸化ナトリウムの潮解による質量変化(30分間)

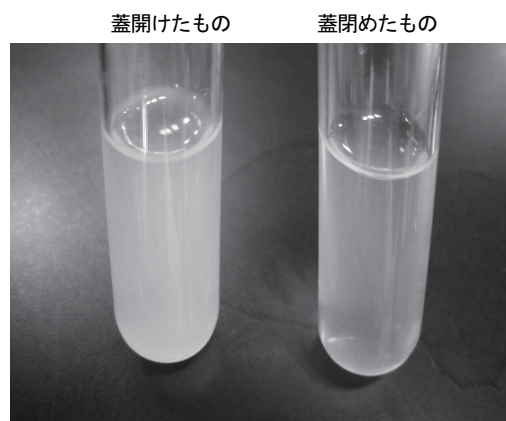


図-5 塩化バリウム水溶液との反応(30分間)



図-6 硫酸銅無水和物との反応

した水の検出実験(図-6)を追加することを検討する。

水を含んでいた場合、硫酸銅無水和物との反応で青色へ変化することにより、水の存在を確認できる。

4. あとがき

独立行政法人国立高等専門学校機構理事（当時）の河村は、高専における教育の特色の一つとして、「教育重視の教員・技術職員協働による実験・実習」を挙げている⁵⁾。これによれば、教員と技術職員による長時間にわたる丹念な実験・実習の指導体制が、高専の教育基盤を支えているとされている。

本報告において筆者らは、本校物質工学科 1 年生を対象とする物質工学実験（化学）の重要性に鑑み、当該実験内容の概要を述べるとともに、新規実験テーマの開発の試みを詳述した。今後も安全性や効率性向上などの面から学生実験のより適切かつ円滑な実施運営が求められる。本報告で述べた実験内容の精選や改善の試みを進展させることによって、本校物質工学科における学生の能力向上や人材育成への貢献につながっていく一助になればと思う。

本報告の一部は、第 1 回高専技術発表会 in 木更津（平成 22 年 3 月）で発表した。

謝辞

長年にわたって物質工学科学生実験に携わり、円滑な学生実験遂行に貢献した本校元技術専門職員の佐藤栄氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 長岡工業高等専門学校 平成 22 年度 学校要覧, 2010.
- 2) 平成 22 年度シラバス 物質工学科 専門科目 物質工学実験（化学）, http://www.nagaoka-ct.ac.jp/wp-content/themes/ngaoka_kousen2009/syllabus/h22/41040.pdf
- 3) 長岡高専の教育目標と特色, <http://www.nagaoka-ct.ac.jp/gaiyou/kyouiku/236.html>
- 4) 佐野博敏, 花房昭静 監修: 新編化学図解, 第一学習社, 1999.
- 5) 河村潤子: 高等教育における国立高専の役割とその可能性, 化学工学, 第 71 巻, 第 6 号, pp.346-351, 2007.

(2010.10.4 受付)