

## 中等教育での実験室における安全管理と教育

東京大学 辻 佳子

### 1. 環境安全の重要性

安全・安心を願う気持ちは、人間の本能である。学校内の活動における事故や災害の防止と安全性の確保は、高等学校においても最も優先的に取り組むべき課題である。では、安全な状態とは、いったいどんな状態であろうか？ 例えば人体や環境に対して毒性を有する化学物質を取り扱うことを考えよう(図1)<sup>1)</sup>。



図1 自分自身の安全と周囲の安全を守る

我々はその毒性にさらされることがないように、適切な保護具をつけて取り扱うであろう。しかし、それだけでは、同じ実験室にいる他の人が毒性にさらされてしまう。そこで、排気設備の整ったヒュームフードの中での取扱いをするだろう。この場合、確かに、同じ実験室にいる人の安全は確保されるが、その有害物質の蒸気はそのまま大気に流されてしまうことになり、建物の外にいる人および環境が毒性にさらされてしまうであろう。したがって、排気設備に有害物質を処理する設備を備えることにより、有害物質を無害化した後に大気に排出する必要がある。すなわち、我々は、自分自身の安全とともに自分以外の環境の安全も守る必要がある。

高等学校敷地内では、組織としての活動、教育活動、および教職員や生徒の生活が営まれおり、これらの活動の中で「自己の安全確保と環境への配慮」はすべての構成員の責務である。環境安全に対する高等学校としての責務は、①教育により環境安全に対

する素養を身につけた人材を育成すること、②高等学校内の活動における安全の確保および高等学校活動に起因する環境への負荷低減といった社会的責任を果たすことである。

### 2. 実験安全の基本

近年、科学的な見方や考え方を育成するために実験・観察などの充実と考察の重要性が高等学校学習指導要領の具体的改善事項の中にも盛り込まれた<sup>2)</sup>。座学で学んだ知識を昇華させるためにも、初等・中等教育における実験や実践を通じた教育効果は計り知れない。ただし、実験者は熟練者ではなく、初心者の生徒であっても実験操作に携わるため、技術の未熟さといった問題が必ずある。このような状況で、実験と安全を両立させる必要がある。さらに、昨今の新型コロナウイルス(COVID-19)の感染拡大に伴い、教職員や生徒は感染拡大に最大限の配慮をして実験を行うことが求められている<sup>3)</sup>。加えて、温室効果ガスの排出量を2050年までに実質ゼロにすることを目指して、世界中で、技術、政策、地域連携など多角的な取組みが加速されている中で、CO<sub>2</sub>排出事業者である高等学校の活動そのものにおけるカーボンニュートラルの推進、加えて、廃棄物資源循環に関する視点も配慮すべきである<sup>4)</sup>。このように、「実験、安全、感染防止、カーボンニュートラルをどのようにバランスさせるか」を考えた環境安全管理および生徒への環境安全教育が必要である(図2)。

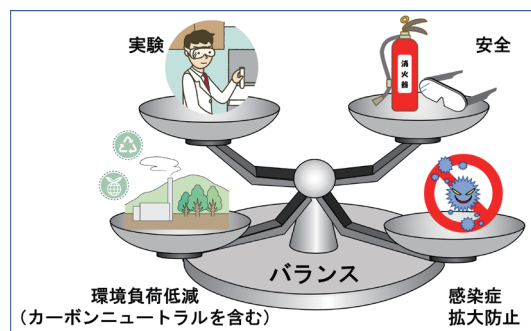


図2 実験の特徴

### 3. 安全の二面性と複雑性

例えば、自動車を運転する際、「安全運転を心掛け、交通安全を目指しましょう」と言われる。この文の中には、「安全」という単語が2回出てくる。前半の「安全」は、運転操作や運転技術といった動作の性質を示しており、後半は、事故が起こらない状態を示している。つまり、この文は安全な動作の積み重ねで安全な状態が達成されることを述べている。また、出刃包丁で魚をさばく際、「出刃包丁を安全に扱ひましょう」と言われる。この場合も、「安全」な出刃包丁(切れない包丁では目的を果たせない)が存在する訳ではなく、手が切れないように安全に取り扱うことを示している。すなわち、安全な状態は与えられるものではなく、「人」がつくる状態であることを意味している。我々のまわりはリスクゼロではない。重要なことは、リスクを回避することと、リスクに遭遇した場合にその被害を最小限にとどめることである。

高等学校の実験室に限らず、大学の研究開発現場や企業の生産現場は、ある「空間」に、化学物質や高圧ガスや実験器具や装置などの「モノ」が配置され、そこに電気や冷却水などの「ユーティリティー」が接続されて、「人」が操作をするところである<sup>5)</sup>。「空間」での「人」の操作には、装置や化学プラントなどにおけるコンピュータ制御も含めて考えることができる。実験室は、そこで何もしなければただの箱であり事故は起きない。その中で人がどのようなものをどのように扱っているか、人が何をしているかによって、事故が起きたり、起きなかったりする。安全な状態とは、その「モノ」固有の特性ではなく、「人」による扱われ方に依存する。例えば、物理的危険性をもつ化学物質である爆発性物質は、物質そのものの存在では危険性はなく、「人」が、熱・火災・打撃・摩擦・着火源との接触という引き金を引いたときに発火・爆発し、事故が起きる。安全な状態を維持できない状況とは、物質そのものもっているポテンシャルを十分理解出来ていない場合と同時に、取り扱う「人」が思い違いや勘違い、あるいはとっさの判断でこれらの引き金をひいてしまうときである。

高等学校の実験室では、複数人で「空間」と「モノ」と「ユーティリティー」が共有されており、1人ひとりがそれぞれのペースで実験操作を行っている。すなわち、複数のシナリオが時間・空間的に共存して

いる複雑化システムである。そのため、個々のシナリオで安全な状態を保つ最適化がはかられたとしても、それが、複雑化システムの中では最適解になっていないことがありうる。

例えば、実験室内で作業する2名の研究者の有機溶媒のばく露量積算量を測定したところ、自分が使用していない溶媒のばく露量が、自分の使用する溶媒のばく露量と同程度もしくはそれを上回る量で検出される場合があることを実測した研究例がある<sup>6)</sup>。また、実験室の給排気の位置によって実験室全体の気流に乱れが生じ<sup>7)</sup>、取り扱っている化学物質が実験室中に拡散してしまうといったこともありうる。また、中小企業における金属洗浄プロセスに関して、ライフサイクルアセスメントやリスクアセスメントを用いて、局所的なリスクと環境影響について作業環境の改善対策の評価の取組み事例の報告もある<sup>8)</sup>。このように、実験室や生産現場における、「モノ」「人」「空間」のダイナミクスを実験的に検証し、複雑な関連性を論理的に整理することにより、これまで漠然とした理解にとどまっていた実験研究現場の実態や実験研究の特徴を、定量的に理解することが進んでいる。

### 4. 実験室管理のポイント

複雑化システムにおける実験室管理のポイントは、実験室の使用者全員が使用する「モノ」の安全な使い方ができる環境になっていることとなる。すなわち、ハード面ソフト面を整備することによる事故の未然防止、被害の最小化ができることが重要である。そのためには、安全を考慮した実験室の設計、安全を守るための設備の運用、さらには、器具・装置・ユーティリティーの正しい使用方法が生徒全員に伝わる仕組み、メンテナンスへの対応を考慮した器具・装置導入を、授業を担当する教員1人ひとりが認識することが必要となる。

#### (1) 実験室の設計

まず、実験室は、授業や日常生活を送る教室と区別されており、実験室内での飲食は禁止しなければならない。これは、例えば有機溶媒など化学物質のばく露を最小限の規模に抑えるためにも重要である。次に、モノのレイアウトを決める際に、実験時の人の動線を考慮した上で、安全作業が行いやすいレイアウトをするだけでなく、万一の実験室内の事故

の際に安全に避難できるように、2方向の避難経路を確保し、生徒がその経路を自分や周囲の実験作業と考え合わせて確認しておくことが重要である。いくら、避難経路が十分に確保されていたとしても、生徒が活用できなければ、機能を果たさないことになる。

化学物質など有害物質を取り扱う実験室では、実験スペースの局所排気による有害物質の拡散防止を行う必要がある。その際、実験室ドアのスリットや外調機により空気を常に給気した上、有害物質が周囲に拡散しないように排気を行うことが必要であり、給気/排気の風量バランスを考慮することを忘れてはならない。エアコンの効きを良くするために給気口をふさいでしまうとこのバランスが崩れ、いくら排気しても、有害物質の拡散2次バリアとして機能しなくなる。

## (2) 実験室の安全設備

実験室の安全設備には、万が一の事故に備えた安全設備と、安全に実験を行うための設備がある。

前者は、火災報知器、消火器、緊急シャワー・洗眼器などが相当する。設置するだけでなく、担当教員や生徒が使用方法の理解に日頃から心掛けておくことが重要である。

後者は、化学物質を取り扱う実験室の設備を例に以下解説する。まず、化学物質を安全に保管・管理するための設備として、専用の薬品保管庫を設置するが、地震などの震動があっても保管庫内で試薬瓶が転倒しないように、例えば試薬瓶を仕切りのあるケースに入れるなどの工夫が必要である。また、薬品の種類を考慮した上、混載禁止の組合せとなる危険物は同じ棚などに保管しないよう注意する必要がある。毒物及び劇物取締法で指定された物質を保管する場合はもちろんのこと、それ以外の化学物質についても、盗難防止の観点から保管庫には施錠しておくことが望ましい。化学物質を安全に使用するための設備として、1章で述べたようにヒュームフード(通称ドラフトチャンバー)がある。ヒュームフードは有害物質の拡散防止のための局所排気設備である。有害物質の利用者および同じ実験室にいる周囲の人の安全を守るためには、排気量確保のために前面サッシの開閉口は極力狭くする必要がある。また実験室外、つまり環境の安全を守るためには、使用する有害物質にあった排ガス処理設備を設置する必

要がある。排ガス処理装置は、酸・アルカリと有機溶媒では異なるので、その点も含めて生徒にも指導する必要がある。

また実験時の服装は、できるだけ皮膚を露出しないで、かつ、実験に適したもので軽快に動作できることが必要である。保護用メガネ、保護用手袋、防護マスク、面体、実験用白衣やエプロンなどを着用し自らの安全を守る必要がある。白衣は使用物質に併せて素材を選択し、例えば酸などを用いる場合は耐薬品性にすぐれたナイロン、テロン製が良いが、引火性物質などを用いる場合は、燃えにくい素材である綿製が良い。ただし、万能な白衣は存在しないので<sup>9)</sup>、実験内容に合わせた服装が重要である。靴はつま先とかかかとが覆われているものを履き、サンダル履きは厳禁である。

このように、実験室に安全を守るための設備や保護具を設置することは、実験室安全の観点から重要であることは言うまでもない。しかし、それ以上に、これらを担当教員と生徒自らが正しく使用し運用する、さらに万が一事故が起こった際にも冷静に使用することが出来るように日頃から確認しておくこと、あるいは運用上の工夫をしておくことこそが、安全を守る上で重要なことである。

## (3) 実験器具および実験装置

実験器具や装置については、実験者は取り扱う器具・ユーティリティー・装置の性質を理解した上で、正しい使用方法で操作し、正しく使用できるようにメンテナンスしておくことが重要である。ガラス器具やプラスチック器具は、それぞれ素材の性質を理解していれば正しい操作方法やメンテナンスの視点がどこになるかが自ずと分かるように、電気・高圧ガスといったユーティリティーや恒温槽などの実験装置も基本的な考え方は同じである。

例えば、誰もが使用する電気を例に挙げると、電気機器には正しい経路で適正な電流値が流れるようにし、流れてはいけないところに流れないようにする必要がある。特に、各装置のメンテナンスといった非定常作業に十分配慮した配線が必要であり、他の装置への影響が出ないように、1装置ごとに配線を閉鎖系にしておくことが重要である。漏電は、目的の電気回路以外に電流が流れることであるが、感電、火災、電力の損失などの原因となる。配電線などの漏電では、初期状態では気づきにくいことが多

く、また部位を特定することが難しいため、定期的な検査が必要である。感電事故は、漏電電流が大地との抵抗が低い人体を流れたときに起き、時には人の命を奪うことがある。そのため、その防止には十分注意する必要がある。まずは接地を確実にすることが挙げられる。たとえ漏電が生じても大地に流れれば感電事故は免れる。次に濡れた手で電気機器を使用しないことが挙げられる。感電時に身体に流れる電流値は、おおむね皮膚の電気抵抗で決まる。水に濡れると皮膚抵抗は1/10以下に低下するため、大量の電流が流れ、感電死する場合もある。感電の恐れがあるときは、乾燥した絶縁手袋や絶縁靴を使用する。

#### (4) 安全のための情報共有

安全のための情報共有は、さまざまな目的で重要である。まず、1つの装置を複数の実験者が共有する場合の実験者同志の情報共有として、実験室内で何が行われているか、危険因子が何であるか、例えば、反応中である、あるいは、加熱中である、といった注意喚起のための情報共有が挙げられる。また、実験室外の人に対してこの実験室では何が行われているのか、危険因子が何であるか、といったことを周知するための情報共有も必要である。さらに、万一事故が起きた際の適切な対応のための情報共有も重要である。

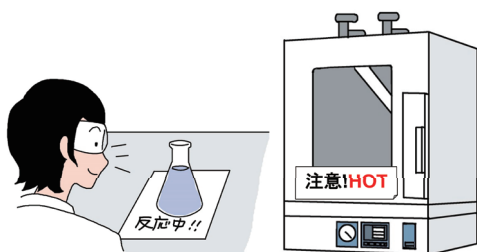


図3 装置の使用状況の表示

## 5. 安全教育の重要性

初等教育・中等教育では基礎知識の取得のみならず、思考力・実践力を身につける基盤構築の時期である。その後の高等教育や社会に出た後、規則や規制の遵守にとどまらず、自らが環境安全を自分の問題としてとらえ、自発的に考えるようになるためには、座学だけではなく、実習・演習を組み合わせた教育手法が有効である。先に述べた電気をはじめとして、目に見えないことを可視化する教育教材は、

現象を理解する上で効果が高く、単なる体感経験ではなく実験データに基づいた考察ができるよう工夫することにより、生徒の関心が高くなり、さらなる教育効果が期待できる<sup>9)</sup>。

また、環境負荷低減に関する教育は、廃棄物を対象とするとわかりやすいであろう。排出者である生徒にとっては、廃棄物が自分の手元を離れた段階で、「もはや自分の問題ではない」、「出したら終わり」と錯覚しやすく、自ら排出した廃棄物の最終的な処分までのプロセスにまで意識が届いてないケースが多々ある。排出者自らが適切な分別を行うなど、廃棄物の発生原点においてその適正処理のための対策に関わるといった意識改革が重要不可欠である。

※ 図1、図3に用いたイラストは、はやのん理系漫画制作室が制作したものです。

#### 参考文献

- 1) 環境安全講習会テキスト(2022年)東京大学環境安全研究センター発行
- 2) 高等学校学習指導要領解説理科編, 文部科学省(平成21年7月):[https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_icsFiles/afiedfile/2010/01/29/1282000\\_6.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afiedfile/2010/01/29/1282000_6.pdf)(2022.9.17.最終閲覧)
- 3) 辻佳子ほか,「COVID-19対応から学ぶ教育・研究活動」, 環境と安全, 11, 51 (2020).
- 4) 中谷ほか,「大学キャンパスから排出される廃プラスチックの循環利用の促進に向けた組成調査」, 環境と安全, 12, 11 (2021).
- 5) 辻佳子,「複雑多様化する研究現場に対応した環境安全教育」, 安全工学, 56, 238 (2017).
- 6) 根津友紀子ほか,「Radio Frequency Identification システム及びwebカメラを用いた化学実験室における試薬の動態に関するケーススタディ」, 環境と安全, 5, 99 (2014).
- 7) Y. Nabeshima, et al., "Analysis on the Influence of Laboratory Design and Operations on Airflow in Experimental Laboratory", J. Environment and Safety, 6, 111 (2015).
- 8) 辻佳子,「化学システム工学に基づく環境安全学創成」, 学術の動向, 22, 12\_40 (2017).
- 9) Y. Tsuji et al., "Toward a comprehensive, effective and concrete program for environmental safety education", J. Environment and Safety, 6, 75 (2015).