

学校理科教育現場における事故事例とその対策（1）

長島 宏希 / 加部 義夫

はじめに

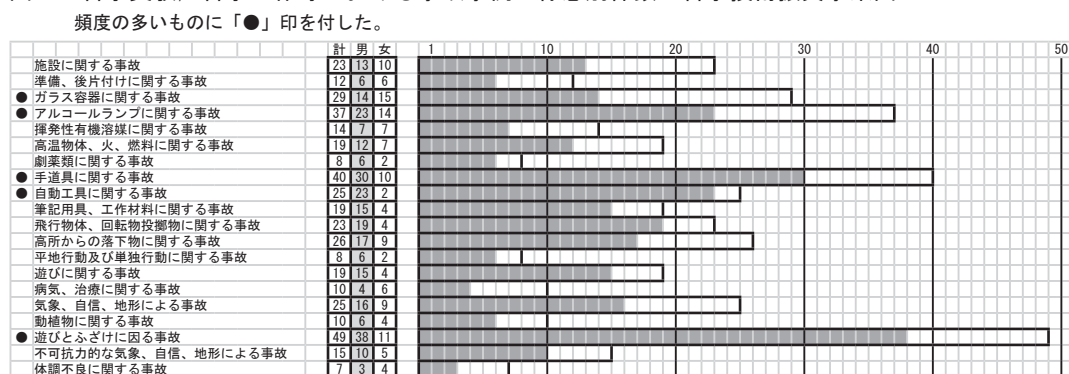
理科離れに歯止めをかけるには、小・中・高における理科の授業が子供たちにとっておもしろいものでなくてはならない。その感動が将来子供たちの理系分野への進路を決定し、延いては日本の化学技術を支えることにもなる。理科の面白さは何といたっても実験・実習や観察ある。それを担う理科教員を養成するため理科教育法を学生に指導している。特に理学部では将来、理科教員を志望して入学してくる学生が多い。学生に志望動機を尋ねると必ずと言って良いほど熱心に実験を実施してくれた中・高の理科教員の存在がある。

理科の実験実習や観察については多かれ少なかれ事故が付きものである。残念なことに掛かる事故が教員の実験離れや生徒の理科嫌いの原因に繋がっている。さらに大学と小・中・高の理科実験の環境には大きな格差がある。教員を希望する学生が将来の教育現場に立ったとき、それぞれの環境を十分に理解したうえで理科実験の安全教育や事故防止の対策が出来ることが望まれる。本稿では小・中・高の教育現場から大学の初年次の学生実験や研究実験まで多発する事故事例を明らかにし、その安全対策と事故例について解説する。

1 教育現場における事故事例の調査

2000年（平成12年）にまとめられた科学技術振興事業団（サイエンス・レンジャー事業）による「科学実験、科学工作等における事故事例の考察」に示された小・中・高における事故で多いものを図1に示す¹⁾。

図1 科学実験、科学工作等における事故事例の様態別件数 科学技術振興事業団¹⁾



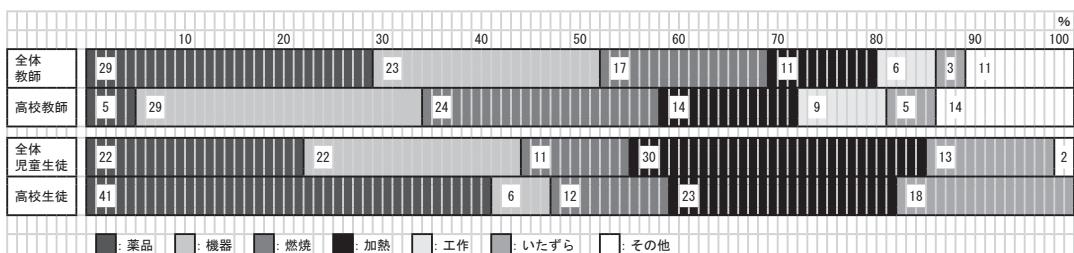
その結果を多い順に並べると次のようになる。

- ① 遊びとふざけによる事故 (49件 全体の14%)
- ② 手道具に関する事故 (40件 全体の12%)
- ③ アルコールランプに関する事故 (37件 全体の11%)
- ④ ガラス容器に関する事故 (29件 全体の8%)
- ⑤ 自動工具に関する事故 (25件 全体の7%)

このデータによると仮に児童・生徒の遊びやふざけがなければ、49件、つまり全体の14%の事故が防げた可能性がある。科学実験や科学工作においては、遊びやふざけをしないように注意することが重要と考えられる。また手工具、アルコールランプ、ガラス容器を使用する実験、さらには自動工具に関する事故には特に注意指示することが大切と考えられる。

この全国規模の調査に限らず、各県毎の調査でも同じ傾向が散見される。例えば平成16年に佐賀県教育センター理科関係講座の受講者へ実施されたアンケートにて得られた「理科実験観察中の事故」についての結果を図2に示す²⁾。

図2 事故はどんな実験の活動中に起こったか (佐賀県教育センター)²⁾



調査結果は当事者(教員又は児童・生徒)を分類分けして示されている。さらに当事者である児童・生徒(小・中)又は高校生を分類分けして示されている。アンケートなので項目が「薬品の取り扱い」、「機器などの取り扱い」、「燃焼の実験」、「加熱の操作」、「工作」と「いたずら」など限定されている。その中の「燃焼の実験」、「加熱の操作」の項目にはアルコールランプを使った実験に関すると思われる。「薬品の取り扱い」、「燃焼の実験」、「加熱の操作」が50%近く、次いで、「機器などの取り扱い」、「工作」そして「いたずら」の割合になっており、これは図1の科学技術事業団の傾向と一致していると判断できる。

さらに昭和40年代に全国理科教育センター研究協議会の手で全国調査が行われ、「事故事例集」として刊行(昭和41年2月)されている³⁾。

調査された結果⁴⁾を表1にあげた。事故例を5つの種類(類型)に分類しているが、

表1 事故の種類(類型)別件数⁴⁾

類型	事故種別	合計	小学校	中学校	高等学校
1	熱源・加熱に関する事故	23	9	12	2
2	強酸・強アルカリ・有毒気体に関する事故	28	3	21	4
3	水素や花火・火薬に関する事故	28	13	14	1
4	器具・工具に関する事故	32	15	15	2
5	野外指導に関する事故	7	7	0	0

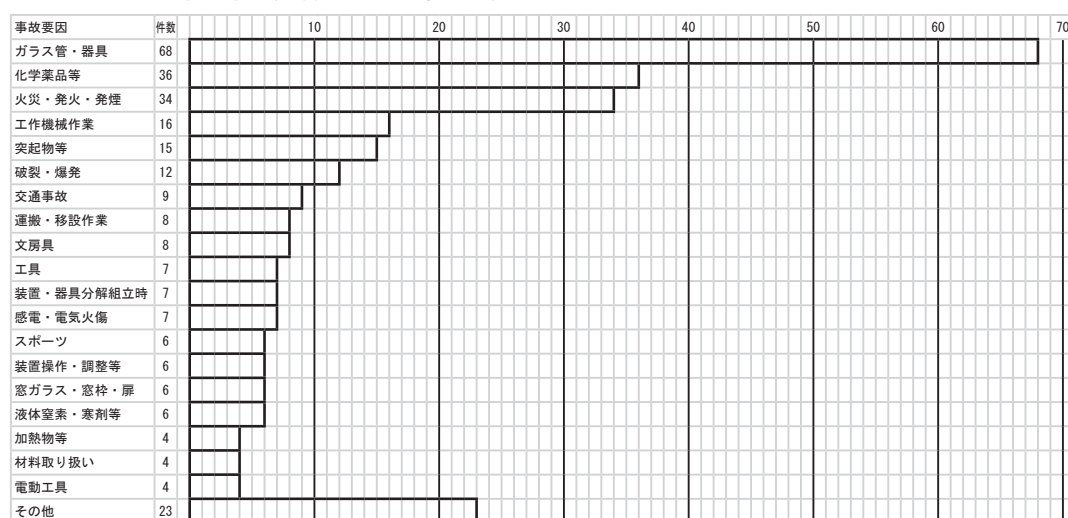
その内容はアルコールランプなどの「熱源・加熱」によるもの、「薬品・水素・火薬」など、そしてガラス器具やハンマーなどの工具による「器具、工具」に関するものと続

いている。先のふたつの調査項目は多くの割合を占めた「遊びやふざけ」に分類が入らないのは時代の変遷によるものと思われる。

以上 いくつかの小・中・高における理科実験の事故調査によるとその事故例が絞られることが理解できる。また、前述の理科教育センター協議会の事故事例調査の結果³⁾によると化学分野の事故が全体の7～8割を占めた。

一方、実験設備が整備されている大学における事故事例を確認する。名古屋大学工学研究科における1978年（昭和53年）から2003年（平成15年）までの25年間に発生した286件の事故事例調査した結果を図3に示した⁵⁾。

図3 名古屋大学工学研究科における事故の要因⁵⁾



ガラス管・器具によるものが断然多く24%，そして化学薬品と火災・発火・発熱などの要因を合計したものが25%となっている。そして「工作機械作業」「工具」「電気工具」を合わせると10%になる。従って、小・中・高と大学での事故例の傾向はその設備格差にも拘らず、まったく同じ傾向である。さらに名古屋大学工学研究科で化学科における事故が全体の事故件数に占める割合は44%以上で他の分野の2倍であった。

2 教育現場における事故事例の調査

2.1 実験学習中に生じる事故の原因

前節の事故調査結果は小・中・高，さらに大学などの教育現場での理科実験の事故については実験設備や取り扱う実験内容に差があるにも拘らず「ガラス器具や実験装置，さらには試薬類の事故」が大半である。掛かる事故の70～80%が化学分野の実験で，多種多様のガラス器具や試薬を扱うためである。実際，化学教育分野の専門誌には化学実験事故防止を図るため特集が繰り返し掲載されている^{6)～10)}。

東京都教育委員会によって事故防止の手引き¹¹⁾や出版社により“安全指針”などが継続して発行している^{12)～14)}。実験事故の原因が実験操作や器具，試薬の取り扱いにあるとして詳細にそれらに解説がなされている。それらの特集号の中で井出ら⁷⁾の論文によると事故原因として以下の3点を挙げている。以下詳しく解説する。

- 1 教師の知識・経験不足
- 2 児童・生徒の不注意やいたずら
- 3 器具の不良（偶発性）など

2.1.1 「教師の経験・知識不足」

生徒に行わせる実験，教師自身が実施する演示実験について予備実験を行うことで経験や知識の不足を補うことを井出ら⁷⁾は推奨している。危険が予想される実験に対しては採り上げる実験が学習を進めるに当たり真に必要なのか，不可欠な実験なのかなどを今一度判断をすべきである。より安全性が高い反応に替え得るのならば，実施回避可能なのであるのならばさらに，実験の目的に反しない限り使用する試薬量を減らし，反応規模を落とす努力も必要であると述べている。もし事故が生じたときには被害を最小限にすることが出来るからである。

2.1.2 「児童・生徒の不注意やいたずら」

児童は実験操作の経験値がゼロに近い状態である。中等教育である中・高では生徒が初心者であり不慣れである者が殆どである。さらに実験室内でふざけ合ったり，実験器具でいたずらをしたりすることにより担当教員が予測もしない事故が生じることがある。

中等教育である中・高では教師と生徒間の信頼関係に基づき，しつづけを軸に指導を展開している。信頼関係を覆す行為に対しては実験の心構え，安全面などの視点から厳しく注意を行い，該当生徒のみならず当該実験授業の参加生徒全員に実験室内の秩序維持がどれ程重要であるのかを意識させることが重要である。一人ひとりが秩序維持をすべき立場であり自分自身のみならず周囲の生徒らの言動にも秩序維持を求める精神を育成するべきである。

実験開始前に講義室などの別室に生徒を集合させ，当日の実験説明と注意を致した後に実験室に移動させる手法にて「心の切替」を行っている教員もいる。いかなる場合であっても「教員の指示，指導に従う」習慣の育成が大切としている。

一方，大学では中等教育である中・高とは異なり，教員ではなく学生らが主体的に実験を進めている点が重要である。

そのためにも予習ノートの製作と予習する時点で実験操作のイメージを描きつつ，学習を進めることを指導する。出来ることならば図などを必ず描き記すように声かけをする。予習なしにて行う実験では得られるものはほとんどないと考えるべきである。児童が参加する長期休業期間に開催される科学教室と同様な学びしかできないと考えて良い。共同(協同)実験者に対しても失礼な行動である。さらに，事故を誘発などしたならば他者の人生を崩壊致すことになりかねない。この点は肝に銘じておくべきである。事前学習不足による①機器操作ミスにより機器が使用不可能になる②試薬扱いミスにより試薬品質が悪化するなどにより自身のみならず他者の実験も止めるに至る事態に陥る。状況によっては実験に関する年間スケジュールの見直しも必要となる。「たかが事前学習」と思う学生が多いと思うが，一つひとつの学習が事故防止につながっていると認識をして欲しいと考える。さらにその学習は事故防止のみではなく多くの事柄に繋がっており，欠かせない行動であることを意識して欲しい。火災事故であれば大学施設の喪失などにまで事態が大きくなることを知っておいて欲しい。

実験にはハード面の準備，即ち 試薬，実験器具の準備が大切であり欠かせない。しか

し事故防止の側面から考えるとソフト面の準備がより重要と考える。実験に臨む姿勢が出来ていることを重んじるべきである。具体的には実験操作の際に不可欠な白衣、保護メガネ、手袋、手ぬぐいなどの準備、他にサンダルを避けること、頭髮を短く束ねること、手先指先の手入れをすることなどである。実験に関するテキスト、筆記具、実験ノートなどをそろえつつ実験操作のイメージを作る時間が事故防止に役立つと言われている。なお、筆記用具は書直しができる鉛筆などは用いない。実験環境にも耐えうる筆記具、例えば油性ボールペンが理想的である。書き損じは二重線を引き、修正を行う。実験に参加する一人ひとりがソフト面の準備を大切に取組むことで相乗的に事故防止が図ることができる。

2.1.3 「器具の不良（偶発性）」

事故原因のひとつに器具の不良がある。実験器具であるということだけで安心感を抱いてしまっている生徒、学生のみならず教員にもいるようである。安心をしていて良いものなのか丁寧に考えたい。

小・中・高ではビーカー、試験管などのガラス実験器具は使用するたびに洗浄、乾燥を行い再利用している。ガラス実験器具は使い捨てるほど安価ではない。樹脂製の実験器具でさえも使い回している学校は多いと思う。首都圏にある大学の学生実験では使用したガラス器具のほとんどは一切洗浄をせずに廃棄をしている。理由は洗浄に掛かる時間的、経済的コストのみならず廃棄に関わる汚染リスク消滅（削減）を図るためである。実験に使用した器具は専用容器に回収した後産業廃棄物として業者に処分をお願いしている。廃液を間違えて流し排水管を汚してしまうリスクがなくなる。実験のたびに試験管などを廃棄するわけにもいかないので学部生の学生実験ではサンプルビンにて実験を行っている。各種研究機関や民間企業企業も同じような潮流がある。労務災害回避、労働安全衛生などの側面から使い捨てるようにしていると聞いている。

遷移金属成分を含んだ溶液を仕込み入れた試験管を洗浄した後に他の反応に用いた場合不都合が生じるリスクがある。再利用しようとした試験管に水素ガスを仕込み入れた途端に爆発する恐れがある。残存した微量の遷移金属成分が触媒として機能をしてしまうと水素ガスと出会ったその瞬間に大気中の酸素との反応を促し燃焼爆発を起こす。爆発する可能性はどの程度であるのかは判断し難いところであるが、そのリスクまで鑑みて研究機関などでは安全策を講じていることを教育現場の方々も知っておいても良いと考える。大学の研究室では洗浄作業を当然行っていると思う。しかし、洗浄方法などに関する学習は視点にも因るが時代遅れの学びとも言える。

次に燃焼爆発ほど危険ではないがしばしば出会うであろうガラス器具の破損について述べる。中等教育である中・高の理科室で必ず目にする集気ビンが破損し易いことは経験ある教員であれば知っている事実である。ビン内に酸素ガスを満たし、スチールワイヤーを燃焼させるとビンの内壁に微細な金属片が必ず付いてしまう。実験用ガラス素材であるパイレックの軟化点は820℃であるので金属片が付着している当該箇所内壁（ガラス）は800℃程度以上の温度にまで上昇したものと考えられる。付着した局所のみが高温になったことからガラス内部に歪みは生じているものと考えられ、破損し易く変質したことは容易に考えられる。どこの学校も集気ビンは破損しない限り使い続けている。何年前に購入し、ビン内で燃焼を何回繰り返したかなどの把握しないまま使い続けることは事故防止の視点から考えると安全と言える行為なのか。インスタントコーヒーを使い切った直後の空

き瓶を転用しての燃焼実験の方が安全であるとも言えると思う。集気ビンの破損事故は器具不良なのであろうか。実験器具の管理に問題があるのではなかろうか。実験に関係する方々に考えて欲しい問題と考えている。

実験器具の素材（例えば、ガラス）特性を熟知しその利点、欠点を的確に把握することにより事故を誘引しない商品選定が可能となる。「試験管ばさみ」の選定を取り上げたい。そもそも試験管を加熱する場合は器具を用いることに反対する教員もいる。素手又は樹脂製のバンドにて試験管を保持することを勧めている。一方、しっかりとしたバネを組み込んである木製の試験管ハサミを勧める教員もいる。焦げることがないということで金属製の試験管ハサミを選ぶ教員もいる。さらに新たな器具購入をするのではなく通常は架台にて使用するクランプを試験管ばさみとして使わせる教員もいる。いかなる選定が最善であるかは実験内容、指導者の考えでも異なる。実験器具に関する情報を展示会などに出向き、仕入れるとともに理化学機器関連業者からのメールマガジンなどにて最新情報を確認することが大切と考える。

2.2 安全対策

学術誌「化学教育」の特集号は初等中等教育機関である小・中・高を対象としている記事が多いが、その中でも大学の初年次での化学実験などを対象とした論文もいくつか散見される^{7) 8)}。

係る論文の中で難波は「大学における化学実験の安全教育」について特に安全対策の機器について詳しく紹介している⁷⁾。化学実験、特に研究実験においては予想し得ない異常反応などを起因とする危険が生じる場合がある。従って最低限の防護対策に必要とする安全機器は必ず準備をし、日頃から使用することにより①使用習慣の確立②非常事態時の対処体制を構築などしておくべきである。難波の項目内容を新しい視点で解説する。

2.2.1 安全メガネ・顔面シールド・白衣

安全メガネ・顔面シールド・白衣などは人体、頭部に最も近い位置の安全具である。これらの物品は「実験、実習の際は欠かせない物」という意識を中等教育機関である中・高時代から育成、定着させたい。

化学実験における事故事例を分析すると安全メガネをかけていれば防ぐことが出来たで

図4 保護メガネ、ゴーグル、顔面シールドと有効性の比較



安全メガネ



ゴーグル



顔面シールド

	前面保護 (飛散)	側面保護 (飛散)	前面保護 (衝撃)	側面保護 (衝撃)	首、顔の保護
一般のメガネ	○	×	○	×	×
安全メガネ	○	○	○	△	×
ゴーグル	◎	◎	◎	◎	×
顔面シールド	◎	○	◎	○	型による

保護効果 ◎：高度な効果 ○：保護効果あり △：保護効果不十分 ×：期待困難

あろう災害がきわめて多いことがわかる。頭部への被災は重大で、視力喪失は被災者の将来を激変させる恐れがある。眼球を保護することを目的に着用する安全具は安全メガネ、保護メガネ、ゴーグルなど多様な形式がある。日常から視力補正メガネを着用している人も必ず保護具を着用すべきである。メガネレンズの素材は樹脂製が望ましい。ガラス製メガネレンズの破片による負傷は酷く、数多くの事故例が報告されている。メガネ、安全メガネ、ゴーグル(メガネの後ろでゴム止め)に加え顔面シールドの有効性に関する調査(米国化学会)の結果を示す(図4)¹⁵⁾。

米国化学会の調査結果によると前面だけではなく側面からの試薬、溶液の飛散や爆発衝撃に対してゴーグルタイプのものが最も有効に機能することが確認できる。

コンタクトレンズに関する危険性も触れておく。化学実験の際はコンタクトレンズの着用は原則、厳禁にすべきであると考ええる。通常生活における事故(例えばスポーツ中の事故)などでもコンタクトレンズを着用していたがため損傷が大きくなってしまったという治療例は枚挙にいとまがないようである。事故による失明する割合がコンタクト着用者は大層高いことは周知の事実のようである。眼球という狭小な個所が被災した場合の治療は困難であることはここで述べるまでもない。狭小な個所、その内部に異物であるコンタクトレンズの存在は治療に対して何の手助けにもならないことは明白である。ハードタイプのコンタクトレンズであるのならその破片が眼球を傷付けるであろうことは容易に想像できる。化学実験においてコンタクトレンズはご法度と考えるべきである。強大な電場、磁場の環境下でのコンタクトレンズの使用も避けるべきである。コンタクトレンズの素材に因るが強大な電場、磁場によりコンタクトレンズ自体が熱を帯びることがある。人体に近い位置にある異物は不測事態を引起す可能性があることと認識すべきである。具体的には差し歯、骨折治療に用いた体内留置金属ボルトなどである。

初等教育機関の小学校などでの安全メガネ着用は難しい面がある。場合によっては中学校の教育現場でも同様の問題が生じていると思われる。かかる問題とは児童生徒の頭部、その成長により適合するサイズの安全メガネの準備が困難なのである。本問題を回避する手段として顔面シールドを採用している学校もある。しかし、この解決方法には予算的な問題が生まれる。かつて安全メガネを生徒の人数分を学校が準備し、着用させていた高等学校が多数あった。しかし、近年は眼病、コロナウイルスの感染防止などを鑑み多くの高等学校が安全メガネの個別購入にて準備をさせている。

白衣は安全メガネの次に近い位置にて人体を保護する着用安全具である。白衣は個々人がはおるもので、安全メガネと同様の感染防止を図るべきである。従って白衣は個々人で準備させたい。白衣購入が生徒の家庭経済に大きく影響しないと判断している学校では個別購入で準備をさせている。実験、実習の際に生じる身体への試薬、溶液などの飛散から保護が出来る白衣であるが、当然限界がある。硫酸などの扱いでは数日後に白衣などに穴が生じていることに気が付く生徒がたまにいる。白衣は汚れが確認されていないときも着用したその日のうちに洗濯する指導が不可欠と考える。

2.2.2 手袋

手袋は危険な試薬を扱うときに欠かせない安全具のひとつである。さらに高温や低温物質を扱う場合にも頼るべき安全具である。実験操作の状況によりその都度適正な種類の手袋を選定し、使用をすべきと考える。試薬の中にはその試薬が生体に付着すると薬傷、着

色をしてしまうことがある。濃硝酸、硝酸銀、過酸化水素水、有機溶媒、色素などに注意すべきである。扱う試薬の特性、手袋の素材などを的確に把握した後に手袋の選定、使用することが望ましい。試薬、手袋の廃棄処分などを思い浮かべつつ「使い捨て」又は「複数回使用可能」にするかを選ぶと良いと考える。

一方、高温の対処にはもっとも簡単な作業用手袋（いわゆる「軍手」）が重宝である。生地が綿であるので可燃性があることを認識しておくべきである。また、樹脂製の滑り止め加工が施されていない作業用手袋の方が実験操作においては歓迎される場合が多い。キッチンミトンは操作性が悪いので使用すべきではない。なお、作業用手袋でのドライアイスの扱いは注意すれば問題ないと考えますが、液体窒素などを扱うときは不適切である。革製の手袋でなければいけない。作業用手袋の生地であると液体窒素が浸み込み、凍結をして手袋が皮膚に固着してしまう。断熱効果が得られないばかりでなく、大きな皮膚損傷を受けてしまう。作業用手袋の着用での液体窒素扱い時の事故は報告されることが少なく数字に表れないのが現状である。しかし少なくない事故が日々生じていることを知っておいて欲しいと考える。

2.2.3 安全シャワー・洗眼器

研究実験のみならず学生実験や生徒実験においても不測の事態が生じる可能性があることは認識しておくべきである。事故が大きくなると身体や衣服に試薬や溶液を浴びたり、火が付いたりする。かかる場合は一刻も早く水をかけることが肝要となる。当事者は気が動転しており、即座に対処行動が出来ないものである。周囲の者が的確に対処すべきである。非常時の心掛け、「非常時の際は周囲の者が救助する。」は機会ある毎に、出来れば毎朝確認し合う習慣を構築したいものである。従って土日、祝祭日、休校日などにひとりだけで実験することは厳禁とすべきである。大学などでは多様な器機が24時間稼働していることが多く、実験室に在室することも避けるべきである。多くの学校、大学では守られていないと耳にする。

試薬、溶液が付着した衣服は即座に脱衣すべきである。いかなる反応が生じ、いかなる物質が付着液に含まれているか予測困難である。緊急時は「恥じらい」は悪と考えるべきである。即座に着衣物を脱ぎ捨てる行動をすべきである。次にすべき行動は理想的には安全シャワーを浴びることである（図5左）。しかし、安全シャワーの設置個所は限定されているので近隣にいる者が近くの蛇口から水を浴びせるのが現実的と考える。理系学部

図5 安全シャワー(左)と洗眼器 洗面所(右)



を設置してある大学には必ず緊急シャワー設備が設置されており、最近では高校でも設置されているようである。衣服への着火した際も理想的には即座に安全シャワーを浴びることである。しかし、この場合も近隣にいる者が近くの蛇口から水を浴びせるべきと考える。

衣服への着火を確認した場合は即座に床に寝そべ、転がり回ると消火し易くなる。転がり回っている者に対してホースで水を掛けると大事に至ることなく消火できる場合もあ

る。衣服に着火した際に自分自身を特殊シートに包むことにより消火が出来る「防火シート」という防災商品もある。商品としては安くはないが準備しておくと思心強い。

試薬、溶液が頭部に浴びた場合は即座に洗浄すべきである。不幸にも眼球に試薬、溶液が混入した場合は水洗浄を行い、視力喪失だけは回避すべきである。洗眼器が設置されているのは大学や企業施設などに限られていると思う(図5右)。洗眼器を設置してある高校の話は耳に致したことがない。小・中・高などで事故が生じた場合は蛇口からゆっくりとした流水を作り、眼球洗浄をすることが一番の応急処置である。各実験台に設けられている蛇口にたわみ易いソフトな樹脂製のNRKホース(約15cm)を装着しておくことを勧める。このホースの装着にて日頃の使用における流水の跳ね飛び防止を図れるとともに冷却器などへの給水接続の容易化も可能となる。生徒や学生が常日頃からソフトでたわみ易いホースに接していることにより万が一の際の対処時間も短くすることが出来ると思われる。洗眼は充分な時間を掛けて洗浄することが肝要で、30分以上時間をかけたいところである。必要に応じてさらに洗浄を続けるべき場合もあると思われる。中和などを考え、各種希釈溶液での洗浄を薦める手引書も有るが、眼球の洗浄に限っては必ず純水にて行う。洗浄後は軽く眼を閉じ、静かにしていることが大切である。移動の際は必ず他人に介護(おんぶ)をしてもらう。医療機関に出向き、医師の前に着座するまで一切まぶたを開いてはいけない。視覚にて周囲を確認する行為は眼球を動かしてしまう行為になるからまぶたは開かない。傷の拡大を防止するため軽く眼を閉じてい続けることが大切なのである。

2.2.4 ヒュームフード(ドラフトチャンバー)・フレキシブル局所排気システム

高等学校、大学などの化学実験室には有害なガス発生反応を行うための換気装置であるフュームフード(わが国では「ドラフト」という名称の方が一般的と思われる)設備が必ず設けられている(図6)。小・中では見ることのない設備である。建屋建築の際に設けられた排気管ダクトによりヒュームフードの上部にある排気ファンが屋外のスクラバーに接続され、常時ヒュームフード内の空気を排気し続けることの出来る重要施設である。近年は研究環境が重視され、今までの実験台を取り去り、全ての実験台をフュームフードに取り替えた大学も登場し始めている。フュームフードの存在は実験室の設けられた特別施設ではなく通常施設になりつつある。なお、排気システムにはフュームフード上部にファンを設置する押上方式、屋外(屋上など)にファンを設置する引上げ方式の2種がある。排気ガスの漏れ防止、フード内音の低減が可能な引上げ方式が理想的とされている。高性能フュームフードには屋外環境にも配慮し、スクラバーにて排気ガス内に含まれている有害成分を取り去る機能を持つ機種もある。除去剤、活性炭などの管理が必要であることから維持管理にそれなりの経費が掛かる。大学以上の機関でないと予算的に適切運用が出来ないと思われる。

また、数年前より排気管設備不要である吸着形式のフュームフードが登場している¹⁶⁾。この商品が登場したことにより従来と異なり研究施設増設などの自由度が上昇した。研究

図6 ヒュームフード(左)とスクラバー(右)



施設であっても人事、経理などの通常業務区画には排気ダクト施設は未設置とすることが通例である。しかしこの吸着形式のフュームフードは排気ダクト未設置区画でも研究実験可能区画にすることができ、配電、給水、排水などを工夫すれば区画転用が可能となる。

近年、フュームフードを取り囲む動向が大きく動きつつある。従来のフュームフードに関する知識、情報を一旦、捨て去ることを勧めたいほどの変革が進んでいる。以前では不可能であったことがくつがえり、安全の確保ができるようになりつつある。その一例として排気速度、排気量などがある。エアカーテンなどを用いてチャンバー内の気流を制御する技術の成熟は目を見張るものがあり、フュームフードの扉（ガラス）も単なる強化ガラスではなく各社、多様な方向性を見すえつつ研究をしているようである。

これに加え、後付け可能な卓上簡易局所排気システムも登場してきている。ビーカー、三角フラスコなどの実験器具から生じる気体や飛沫を拡散させないことを主な目的に設計されたフレキシブルに移動可能な局所排気システムである（図7左）。卓上型の局所排気装置が登場したころは実験台からグーネック形式の蛇腹排気管が飛び出していた。近年は天井から多関節直管排気ダクトと吸引口から構成されているフレキシブルシステムが主流になりつつある。このシステムもフュームフードと同様に日々成熟しつつある排気装置で注視すべき設備機器である。

図7 フレキシブル局所排気システム(左)と背面部分に送風機箱(右)



フュームフード、卓上簡易局所排気システムの成熟により以前と比べ危険性が高い物質であっても気軽に安心を抱きつつ扱えるようになった。しかし、破裂、爆発には一目置くべきである。時間的猶予が存在しない物理的衝撃は有害性とは大きく異なる。強化ガラス（強化プラスチック）素材のフュームフード扉も防爆の役割を果たすが防爆衝立の併用は欠かすべきではない。

最後にフュームフードが使えない場合、設備がない場合は樹脂袋で対処ができることがある。大きな透明な樹脂製の袋内に試薬や実験器具を仕込み入れ、袋内で反応を起こすなどの工夫にて児童、生徒らの安全を確保できる。「実験は窓を開放して行うべし」という考えが以前あった。不測の有害物質などの室内充満を避けるという趣旨である。一部地域の実験施設棟は窓開放での利用が前提で設計されており、空調装置は不要であるとされた。多少の寒暖に問題があろうとも窓開放は常に心掛けるべきである。単に開放するだけでは換気効率が期待する程効果が得られない場合もある。特に有機溶媒の蒸気は床面を流れ漂うので床面に換気装置が設置されていない実験室では人が出入りする扉を開放し、送風機にて気流を作ると効率的に換気ができる。

2.2.5 消火器

消火設備、消火器については消防関係法令にて規定されている。各種教育機関は人命を預かっていることから通常の民間施設よりも設備などは充実し、消火器は十分に設置されている学校が多い。火災は大きくA：火災（木材火災）、B：火災（油火災）、C：火災（電気火災）の3種に分類され、消火器もその種に応じて製造されている。実験室は不燃を念

頭に作られておりA火災は通常生じない。実験室ではC火災も稀に生じるが、多くがB火災と言われている。設置すべき消火器はBタイプ、Cタイプを主として選定すべきである。大学などの特殊な研究室などに関しては金属火災を考慮する必要がある。小・中・高の実験室での火災は有機溶媒系の引火が多い。引火に対する初期消火を日頃から気を付けるように声掛けをしておくべきである。

炭酸ガス消火器 (B, C) は放射距離が比較的に短いという特徴がある (図8左)。火元に近寄れる初期消火にふさわしい消火器である。電気火災にも使用ができるので是非とも設置しておいたものである。炭酸ガス消火器の本体はガスボンベと同じ加圧容器であるので本体に生じている錆びには注意をすべきである。粉末消火器 (A, B, C) の多くが炭酸水素ナトリウムにステアリン酸塩を添加した消火剤を用いている (図8右)。有機溶媒の燃焼を消火するとき頼りになる。

図8 炭酸ガス消火器 (左)
と粉末消火器 (右)



粉末消火器の一部では塩化ナトリウムを主成分とする消火器も有る。この消火器はアルカリ金属や有機金属化合物に対して有効である。泡沫消火器は木材火災に役に立つ一方、後処理の困難性、火災現場を破壊するという特性で近年は選定されにくい。強化液消火器 (A, B, C) の消火液はテトラクロロメタンであるので全ての火災に用いることが出来る。しかし消火液が有害性であること、消火の際ホスゲン発生の可能性があることなどから選定から外したい消火器と考える。

出火した際は消火の三原則「可燃物排除」「酸素の排除」「温度の低下」に基づき落ち着いた行動を取ることが望まれる。ビーカーに仕込んだ溶液に着火したのなら濡れ雑巾で覆い包み込めば即座に消火が出来る。酸素供給を遮断し、濡れていることから温度低下が出来る。消火器での消火は主に「酸素遮断しかできない。」ことを覚えておきたい。狭小スペースには投擲 (とうてき) 型消火器も準備しておきたい。

2.3 試薬管理とその扱い

次に小・中・高、並びに大学にて取り扱われる試薬について述べる。試薬の保管・管理に関する一般的な注意事項、さらに事故例も示す。

通常、一般人が薬品や薬剤と認識しているものは幾つかに分類分けされる。法令上の次のように分類される。医療機関で用いられている『医薬品』に、殺虫剤、入浴剤、化粧品などは『医薬部外品』に、実験・研究並びに工業薬品、農薬などは『医薬用外薬品』に分類される。従って、教育機関 (人材育成機関) である学校の理科室や大学等の実験室にて用いられる薬品は一般に「試薬」と呼ばれ存在であるが、法令上の分類は『医薬用外薬品』となる。学校・大学等にて用いられる医薬用外薬品のうち人などの生命体に有毒な、即ち生理的機能の障害をきたす物質については『毒物』、『劇物』の分類分けがなされている。危害が大きい方を『毒物』、危害が軽いとされる方を『劇物』という分類名にしている。詳細は『毒物および劇物取締法』にて定めている。玩具などにて扱うシンナーや接着剤なども含まれており意外に一般人にも身近な法令である。『毒物』の場合は試薬の保管容器

世界のいかなる国家，地域でも輸送・運搬の場面でも適切な扱いを促す効果や安全確保も可能となった。このGHS表示により毒物劇物以外の試薬に関しても容易に毒性を把握し易くなり，試薬毎に文献で毒性確認をする手間が消滅した。この手間の消滅は事故の際は大きい役立つと思われる。

教育機関である学校での毒物劇物の取扱いに関する登録，届け出などの手続きは義務ではない。届出を要しないが生命体に有毒な試薬であることから「毒物劇物を業務上取扱う者」として教員などは法令に準じた保管・管理・廃棄処分を実施すべきである。特に保管スペース（薬品庫）の扉には施錠し得る設備にしておくことが求められる。さらに保管筐体（保管棚）毎に鍵を備えていけば理想的である。なお，保管スペース（薬品庫）扉の周辺に『医薬用 毒物・劇物』の表示が義務とされている。

さらに，労働安全衛生法のもと「特定化学物質障害予防規則」（特化則），「有機溶剤中毒予防則」（有機則）などが定められている。特定化学物質は業務に携わる作業者の健康障害（悪性腫瘍，皮膚炎，神経障害など）を予防するために労働安全衛生法施行令で定められた物質である。本規則で定められた物質はヒュームフード内での取り扱いが求められる。その際は保護具を着用が欠かせない。次に示す事故例はN,N-ジメチルホルムアミド（DMF）の吸引である。DMFは有機物質のみならず無機物質に対しても高い溶解性を示すことから頻繁に用いられる溶媒である。労働安全衛生法では「第2種有機溶剤」に分類されている。

事故例 N,N-ジメチルホルムアミドの吸引¹⁸⁾

ドラフトを利用しないでN,N-ジメチルホルムアミド（DMF）を扱った。実験台にて行った操作はビペットを用いての分注で、その際にDMF吸引をし、気分が悪くなった。病院に救急搬送され、経過観察のために1日入院をする。

DMFはGHS（炎，どくろ，腐食性，健康有害性の4種）が表示されている試薬で多様な毒性を有する試薬である。安易な気持ちにて取扱わないことを肝に銘じるべきである。扱う場合はフュームフードにて行うか，卓上簡易局所排気システム，グローバックなどの利用をすべきである。

学校で扱う試薬には火災や爆発を起こす危険性を有する物質も含まれている。危険なこの種の物質は一定量以上の貯蔵は及び取扱いについては消防法にて規制されている。通常，教育機関である学校では多量の危険物を取り扱うことはないので消防法の適用外となる。しかし，少量とはいえ①危険物であること，②保管をしていることを鑑みれば危険物に対する知識の習得に努め，消防法に沿った保管・管理に努めるべきである。毒物・劇物を含めた危険物に係る法令を表3に示す。

消防法では危険物を性質の側面から6種に分類分けをして規定している。教育機関である学校の理科室などに保管されている試薬等で危険性の高い物質には以下のものがある。

第1類 酸化性固体：塩素酸塩類，過マンガン酸塩類

第3類 自然発火性：金属ナトリウム・カリウム

第4類 引火性物質：ジエチルエーテル，ガソリン，ベンゼン，トルエン，ヘキサン，メタノール，エタノール，アセトンなど

表3 危険な物質と法令の関係¹⁹⁾

危険な物質		関連法令
発火性物質	酸化性物質 (固体)	消防法 第1類
	強酸性物質	消防法 第6類
	低温着火性物質 (固体)	消防法 第2類
	禁水性物質	消防法 第3類
	自然発火性物質	消防法 第3類
引火性物質	引火性物質 (液体)	消防法 第4類
爆発性物質	自己反応性物質	消防法 第5類
	火薬類	火薬類取締法
	可燃性ガス	高圧ガス取締法
有毒性物質	毒性ガス	高圧ガス取締法
	毒物	毒物及び劇物取締法
	劇物	毒物及び劇物取締法

事故例 アセトンへの引火²⁰⁾

生物実習にて葉緑素をアセトンで抽出する実験で、試料を入れたビーカーを水浴で加熱したところ、アセトンの蒸気が水浴を加熱しているガスバーナーの火に引火した。

アセトンは物理、化学、生物等多分野にて用いられる溶媒である。頻繁に用いるがために特性に関する意識が薄れてしまうことがある。引火性のある有機溶媒が仕込んである容器を裸火で加熱することはご法度行為である。厳禁な行為であることは明らかである。水などの液体媒体を用いれば加熱はゆっくりとなされたとともに温度の均一化を図ることが出来る。しかし、その熱媒体を裸火で加熱することはナンセンスの極みと言える。アセトンは引火点、 -18°C の第4類引火性物質に分類される危険物であり、注意が必要である。濃縮操作であるのなら抽出物の変質を鑑みれば加熱ではなく減圧を選択すべきである。ロータリーエバポレーターに任せるのではなく簡易減圧ポンプを使い、逐次アセトン溶液の状態を確認しつつ減圧度合いを調整しながら濃縮を行いたいものである。

危険物の保管、貯蔵には消防法で規制がされている。貯蔵出来得る量、即ち「指定数量」が定められている。危険物であるため当然であるが大量購入、大量保管はすべきではない。高等学校の教科「理科」の実験・実習で多種多様な危険物を取り扱うが指定数量以上の量を扱うことはほぼない。消防署への届出は基本、不要と考えても良いと思われる。製造事業所とは異なり、扱う量が桁違いに少ない学校であるが「危険物を保管していること」の意識は常に持っていることが求められる。次に指定数量の計算の例を示す(表4)。多くの小、中、高では貯蔵、保管量が多くないので確認をするまでもないが年に一度は指定数量(倍数)の計算を行い、危険物に対する意識を高く維持したいものである。危険物の貯蔵、保管に関する扱いは毒物・劇物と類似している点が多い。扉の施錠などに関しては同じである。貯蔵、保管施設内が不燃性素材での構成など等の点が異なることを念頭に置き、確認する必要がある。特に棚の固定、消火器の常備、換気扇の設置などは機会が有る度に確認をすべきと考える。

これらに加え地震対策もしておくべきと考える。特に貯蔵、保管スペースの建屋構造や設置階の階数などを鑑み、転倒、破損の対策を講じるべきと考える。

表4 高等学校の理科室が貯蔵している溶媒などの一覧²¹⁾ と 指定数量の計算

溶媒名称	貯蔵量	類 別	細分類	指定数量	倍 数	備 考
アセトン	40L	四	第一石油類	400L	0.1	
メタノール	10L	四	アルコール類	400L	0.025	劇物
濃硝酸	3 Kg	六	—	300Kg	0.01	劇物
合 計					0.135	

法規定：倍数の合計が各々の防火区画毎に0.2を超えてはならない。

計算式 $40/400+10/400+3/300=0.1+0.025+0.01=0.135 < 0.2$ ………消防署への届出不要

終わりに

学校の理科教育現場における事故事例とそれに基づく安全対策を過去の調査や関連した教育論文から解説することを試みた。

分野としては物理、化学、生物、地学の4分野、対象としては小・中・高及び大学（学生実験、研究室など）まで含めることにした。参考にしている調査結果や教育論文もだいぶ古いものになってしまっているのが安全対策としては既に時代遅れになってしまっている記載もあると思う。今後は適宜改訂して最新情報に差し替える計画である。

今回は事故事例とその原因、そして一般的安全対策を取り上げた。次回は個別に事故例を一つひとつ分析する予定である。

【引用文献】

- 1) 西潟千明（2000年）「科学実験，科学工作等における事故事例の考察 —30年内の505事例—」 科学技術振興事業団
- 2) 「安全な理科実験・観察ハンドブック—高等学校—」（平成16年） 佐賀県教育センター 2004 https://www.saga-ed.jp/kenkyu/kenkyu_chousa/h16/01anzennarika/top4.htm（閲覧2021/08/30） https://www.saga-ed.jp/kenkyu/kenkyu_chousa/h16/01anzennarika/shiryu/06jiko.pdf（閲覧2021/08/30）
- 3) 全国理科教育センター研究協議編集 「安全な理科実験—事故事例とその防止対策」 東洋館出版 1967年5月
- 4) 池田 惇子「理科学習指導に関連した事故例とその対策」 新潟県立教育研究所 1966 https://edu-niigata.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=36&item_no=1&page_id=29&block_id=46（閲覧2021/08/30） <https://core.ac.uk/download/51375108.pdf>（閲覧2021/08/30）

- 5) 川泉文男「実験マニュアル」依存主義からの脱却 化学と教育 (2005) 55巻 p346-349.
- 6) 竹林保次, 武谷琢美, 中西啓二, 難波桂芳, 西平輝子 化学教育1965 13巻 NO3 p373-395.
- 7) 「<特集>中・高・大学における化学実験の安全教育」化学教育1971 19巻 NO1 p7～60.
- 8) 「<特集>安全な化学実験ABC」化学と教育1993 41巻 NO8 p508-528.
- 9) 「<特集>教育現場における危険物 有害物の取扱い」化学と教育1996 44巻 NO5 p290-312.
- 10) 「<特集>化学実験での事故防止のために—いくつかの事故例と安全教育—」化学と教育2005 53巻 NO6 p346-507.
- 11) 「観察, 実験事故防止の手引き」(四訂版) 東京都教育委員会 1995年3月
- 12) 日本化学会「化学実験の安全指針」(改訂2版) 丸善1979 211p. ISBN-13 : 9784621023754
- 13) 化学同人編集「実験を安全に行うために」(8版) 化学同人 2017 154p. ISBN-13 : 9784759818338
- 14) 化学同人編集「続 実験を安全に行うために—基本操作・基本測定編—」(4版) 化学同人 2017 154p. ISBN-13 : 9784759818345
- 15) ヘスコインターナショナル/日本化学化監修 (1990)『化学基礎実験方法ビデオシリーズ 1 [2か国語版] 実験室の安全性 (LAB SAFETY)』(DVD) 日本 ヘスコインターナショナル
- 16) https://www.orientalgiken.co.jp/latest_products/ductlessfumehood.html (閲覧2021/08/30)
- 17) <http://www.env.go.jp/chemi/ghs/attach/pamphlet.pdf> (閲覧2021/08/30)
- 18) 山口 和也, 山本 仁「基礎化学実験安全オリエンテーション」東京化学同人 2007 ISBN-13 : 9784807906666
- 19) 神奈川大学理学部化学科 基礎化学演習Ⅱテキスト 2021
- 20) 日本化学会編集「これだけは知っておきたい化学実験セーフティガイド」化学同人 2006 ISBN-13 : 9784759810516
- 21) 日本化学会編集「安全衛生教育・管理のための化学安全ノート」改定版 丸善 2007 ISBN-13 : 9784621077849