

第8章 環境物質工学科における安全

8. 1 実験・実習の基本的心得

環境分析化学実験や環境化学実験 I~III の実験の目的は、

- ① 物質や器具、装置の取り扱いに慣れること
- ② 講義で学ぶ事柄や論理を自分の目で確かめること
- ③ 正しい実験結果を得るための一定水準以上の基礎実験技術を習得すること
- ④ より専門的コースにおける実験の足がかりをつくること、にある。

大学初級における実験は、マニュアルに従えば確実にできるものであり、さほど危険も伴わないように配慮してある。しかし、学生諸君にとっては、これからの実験といえども初めての未知の世界での体験である。したがって、十分な準備の後、細心の注意と謙虚さをもって実験することが必要である。

これに対して、卒業論文、修士論文の実験は、マニュアル化された実験ではなく、全く新しいもの、未知な事柄に対する実験が主要な部分を占める。したがって、用いる試薬、反応、装置等については充分下調べをし、安全性への予備知識をもった上で行わなければならない。

特に化学実験では、物質の反応や性質を調べるために多種類の化学薬品やガス等を使用する。その中には引火性の強いものや爆発性のもの、毒物、劇物も多い。また、実験器具にはガラス製のものが多いため、破損して手を切るといった不注意による傷害の危険性も多分にある。

しかし、用いる試薬、器具、装置等の性質や危険性を予めよく理解し、取り扱いに十分な注意を払うことによってほとんどの事故は未然に防止できるものである。実験室における事故には不注意によるものが多いが、無知によるものも少なくない。

災害は一般に予期せぬ形で起こることが多い。安全のためには、事前に充分な災害防止策を講じること、安全に関して常日頃から充分関心を持ち続けること、さらには、安全策を実行することが重要である。特に、学生諸君は実験に際して、本章および関連箇所を熟読するとともに、指導者から与えられる注意事項を必ず守り、安全な実験を行うよう心掛けねばならない。

特に、以下の取り決め事項・注意事項を遵守し、事故のない安全な実験・研究に留意すること。

【環境物質工学科・研究実験における安全のための取り決め事項】

- 教員全員が出張等で研究室を留守にする場合、安全が十分に確保できない実験は行わないこと。ただし、この原則は、博士研究員には適用しない。
- 大学院の学生を含め、実験を行う場合は原則として実験室で一人では行わないこと。博士研究員については、例外とする。
- 実験は、長期連続実験等、特殊な場合を除き、極力昼間に実験が終了するように計画する。長期連続実験等を実施する場合は、通常の実験以上に十分安全に留意すること。
- 消火栓、消火器の保管場所を確認する。また、それらの周囲には使用の障害となる物品を置

かないこと。

- 避難経路を確認する。非常口、非常階段、廊下などには避難の障害となる物品を置かないこと。
- 実験室を最後に退出する人は、実験室の安全を十分確認した後、施錠・退出のこと。

【実験を行う上での注意事項】

- 実験室内を常に整理整頓しておくこと。特に、有機溶媒が染み込んだ紙類を実験台の上などに放置しない。
- 実験室に多量の有機溶媒を保管しないこと。必要量ずつ小出しにして使用する。また、使用後は速やかに所定の保管場所に戻すこと。
- 引火性物質や可燃性物質の蒸気、毒性のガスが出る可能性のある操作は、必ずドラフト内で行うこと。
- バーナー、ドライヤーなど直火を用いる作業は、周囲に引火性溶媒等が無いことを充分確認すること。
- 加熱実験中は、その場を決して離れないこと。長時間の加熱が必要な際は、温度調節器などを用いて過剰加熱に対応できるようにすること。
- 保護眼鏡や白衣などを着用し、実験に適した服装をすること。また、火気を取り扱う場合は、白衣などの素材が綿 100%のものを使用すること。特に冬期は、起毛加工衣類など引火しやすいものは着用しないこと。
- 有機廃液は決して流しに流さないこと。
- 酸廃液とアルカリ廃液は種類別に貯留し、決して混合しないこと。有機廃液を含まない場合は、中和した後、固形物を取り除いて実験排水として処理する。
- 高圧ガスシリンダーは、鎖等で固定して使用する。
- 水素等の可燃性ガスを使用する場合は、定置型のガスセンサー、警報機を設置すること。(水素炎を用いるガスクロを使用する場合も設置が望まれる。)

8. 1. 1 実験室での一般的注意

(1) 実験者の心得

- 単独で実験を行わないこと。疲れているときや急ぎのときは、特に気をつけて実験を行うこと。時間外は救急対策が不十分にならないように特に注意すること。
- 薬品による衣類、身体の損傷を防ぐために、実験衣あるいは作業衣を着用すること。また、セーターのように燃えやすいもの、袖のひらひらするような衣類、かかとの高い靴等の着用は避け、長い毛髪は後ろで束ねること。
- 薬品類の飛散あるいは突沸、小爆発によるガラス類の破片による被害から目を守るために、保護眼鏡を常に着用する。眼鏡をかけている場合は、眼鏡カバー（ゴーグル状のもの）を用いるとよい。
- 整理整頓に心掛けること。化学実験を始める前に実験台および周辺の整理整頓を行う。また、終了後は器具、装置を整理整頓しておくこと。

- 薬品使用後は必ず手を洗う習慣を平素からつけておくこと。特に、危険薬品を取り扱う場合には、ゴム手袋（無い場合にはポリ袋で代用）をして、直接手に薬品が触れないようにすること。なお、手袋などは使用后、直ちに洗って安全にしておくこと。
- 実験室には食べ物や飲み物を持ち込まないこと。有毒な薬品、ガスなどが付着することがある。

(2) 実験室での注意事項

- 実験室には必要以上の量や種類の薬品を持ち込まないこと。また、使用後は実験台などに放置せず、所定の場所に保管すること。（劇物、毒物は特に注意）必要最小限の薬品で実験を行い、また事前にその薬品の性質と取り扱い方を熟知しておくこと。
- 実験台近くの水道蛇口の少なくとも一ヶ所に、30 cm 程度のガス用ゴム管を付けておけば、洗眼や皮膚の洗浄などに利用でき何かと便利である。
- 消火器等の安全設備の位置を確認し、使用法を習得しておくこと。また、有機溶媒使用時は、実験室の換気に十分注意すること。（特に、冬期暖房時）
- 薬品、溶媒、溶液などの容器のラベルは見間違いのないように明記し、確認の上使用すること。
- 器具の破損の事前点検を励行すること。ガラス器具にひびなどの破損を認めたら、実験開始前に取り替えておくこと。大丈夫だろうと思っても、実験中に破損すると大きな事故につながる可能性がある。
- 器具、試薬類は実験台の奥側へ置くこと。実験中は器具や試薬類を手や肘で倒したり、床に落としたりしないように、少なくとも実験台の端から 20 cm 以上奥の方へ置くこと。加熱などは危険性を考え、実験台の奥の方で行うこと。
- 加熱性溶媒、引火性溶媒の取り扱いには、特に注意すること。エーテル、アセトンなど、引火性のものは遠い火にも引火し、火災発生の原因となる。これらの溶媒は、必要量以上に実験台に置いてはいけない。さらに、近くでの火の使用は、厳禁である。
- ガスバーナーを使用するときには、ホースなどのひび割れに注意すること。また、実験中に発生するガスにも、爆発性のもの、有毒なものがあるので、取り扱い、換気に充分注意すること。
- 有毒なガス、蒸気を発生する実験はドラフト内で行い、さらに、不測の事態に備えて防毒面、有毒なガスの吸着剤などを準備しておくこと。また、周囲の人々に危険性を知らせておくこと。

(3) 事故の場合の対応

- 万一、事故発生の場合の対策を充分にたて、応急処置の方法を知っておくこと。
- 衣服に火がついた場合は、慌てず、まず人を呼んで消してもらるか、直ちに廊下に出て床に転がって消す。安全シャワーの使用が望ましい。
- 眼に薬品等（特にアルカリ）が入った場合には、直ちに 10 分間以上流水で洗眼した後、医師の相談を受けること。（実験室における事故の約半数は眼の障害である。）
- 皮膚に薬品がついた時、および火傷の場合でも、病院へ行く前にまず十分な水洗いを行うことが大切である。（流水で十分に冷却する。）チンク油など油性の薬をつけてはいけない。病

院でその除去に手間取り、かえって悪い結果となる場合がある。

8. 1. 2 実験廃液

実験に際して発生する廃液の取り扱いや処理は、直接的な危険の回避のためのみならず、環境保全のためにも重要な課題である。特に、水質汚濁防止法に基づき排水基準が定められている有害物質、生活環境項目、ハロゲン含有有機化合物、農薬等は決して「流し」に流してはならない。岡山大学には、廃液・排水処理指針も決められているので、これを熟知しておくこと。

特に、重金属を含む溶液などは、区分に従って色分けされた廃液用ポリタンクに貯蔵する。重金属および鉛、カドミウム、ヒ素（白色 20 L ポリ容器）と水銀（特別扱い、赤色 20 L ポリ容器）は別扱いになるので、貯蔵する容器を間違えないようにすること。その他、シアン化物（青色 20 L ポリ容器）は、アルカリ性で廃液用ポリタンクに貯めておくこと。重金属等の有害物質を含まない酸およびアルカリは、適正な方法で中和後、「流し」に捨ててよいが、この場合、必ず指導者の指示に従って行うこと。

有機廃液は、非塩素系有機溶媒、塩素系有機廃液、難燃性水系廃液に区分され、さらに内容物、水溶性の有無、塩素濃度等の相違により 8 つに分別して白色 10L ポリ容器に貯留、保管する。容器には色分けされた分別ステッカーを貼ること。

実験廃液は、排出者の責任で外部委託により処理されるが、環境管理センターに処理申込後、定められた時期に搬入すること。詳しくは、9.2 節を参照のこと。

8. 2 化学物質の取り扱い

8. 2. 1 特に注意を要する化学物質

取り扱いに注意が必要な化学物質を分類して表 8-1 に示した。このほかに、通常よく使用する物質についての取り扱いを説明する。

- 強酸（濃硝酸、発煙硝酸、濃硫酸、発煙硫酸、濃塩酸、トリフルオロ酢酸など）：濃硫酸、発煙硫酸などは、水と混合すると多量の熱を発生する。薄めるときは、必ず多量の水にかき混ぜながら少しずつ加える。濃い硫酸や硝酸は腐食性も強いので、付着したら水で十分に洗っておくこと。
- 強塩基（リチウム、ナトリウム、カリウム、カルシウム等の水酸化物水溶液など）：眼に入ると失明の恐れがあるので、特に注意すること。アンモニア水（アルカリ性）にも注意すること。
- 塩素酸、過塩素酸、過マンガン酸塩、クロム酸塩など：有機物と混合すると燃焼を誘発し、爆発の可能性がある。
- ハロゲン：塩素と水素、炭化水素との混合物は、光や金属触媒で爆発的に反応することがある。
- 金属水素化物： AlH_3 は空気中で発火、 LiAlH_4 は水と激しく反応し発火することもある。また、アルキルリチウムの中には空気中で発火するものもある。
- 還元用触媒（ラネーニッケル、白金、パラジウム触媒など）：乾燥状態で発火することがある。

- 過酸化水素：高濃度の過酸化水素水は皮膚を侵し、痛みを生じることがある。使用後は、直ちに付着した恐れのある手などを十分に水洗しておくこと。
- 有機溶剤：低沸点溶液は引火性が大きい。また、その毒性にも注意すること。四塩化炭素、クロロホルム等有機ハロゲン化合物には毒性が強いものも多く、吸引しないように注意すること。また、環境基準も厳しく定められているので、廃液処理にも充分注意すること。
- 氷酢酸：付着すると皮膚が侵され、皮が剥がれることがある。氷酢酸取り扱い後は、直ちに付着した恐れのある手などを十分に水洗しておくこと。

8. 2. 2 可燃性ガス・有毒性ガス

(1) 可燃性ガス

可燃性ガスは、空気と燃焼反応を起こすガスで、炭化水素ガス（水素、メタン、エタン等）や水素化物（シラン、ホスフィン等）などがあり、使用に際しては以下のような注意が必要である。

- 可燃性ガスと空気の混合物の爆発範囲は広範囲にわたるものが多く、わずかな漏れで爆発が起こり得るので、使用に先立ちガス漏れの検査を必ず行う。
- 火気を絶対に近づけないようにし、使用するガスに合わせて消火器等の消防設備を設ける。
- 換気の良い場所で使用し、火災、爆発に対する配慮を充分に行う。
- スパークなどによる引火、爆発を防ぐために、電気設備は防爆型のものを使用し、静電気に対する注意を払う。
- 可燃性ガスの爆発範囲は空気との混合気に対して算出されている場合が多いが、他の支燃性ガス（ハロゲン類、一酸化窒素等の酸化性ガス）との混合気で爆発範囲が異なってくるので支燃性ガスの特性についても事前に調査する必要がある。

また、モノシラン、ジシラン、ホスフィン、ジボランは自然着火性であり、大気中に漏洩すると火種がなくても発火しやすい性質をもっている。そのため、これらのガスの炎は水や消火器により消すことは難しい。さらに重要なことは、ガスの漏洩部での燃焼が消えたときには、多量の爆発混合気形成され、これは他の火種により爆発が起こり得るので非常に危険である。したがって、発火した場合には他への延焼を防止し、ガスの元栓を閉じてガスの漏洩を止める必要がある。さらに、この自然着火性は、ガスの放出条件（流速）により異なり、放出流速が大きい場合には自然着火せずそのまま大気中に拡散し爆発混合気を形成する。このような状態で、漏洩したガスが滞留したり、放出流速が低下したときに自然着火し爆発する可能性があるため、充分な注意が必要である。

(2) 有毒性ガス

有毒性ガスは、呼吸器、皮膚、神経等、人体に悪影響を与えるガスであり、使用に際しては、以下のような注意が必要である。

- ガスの特性を十分に理解して取り扱うことは言うまでもなく、防毒マスク（酸素マスク等）をすぐ使用できるように用意し、防毒設備、避難路の確保などの措置についても万全を期する必要がある。
- 可燃性ガスと同様に大気中への漏れに注意を払う必要があり、使用に先立ち不活性なガスで充分なガス漏れ検査を行う必要がある。また、使用に際しては換気の良い場所で行い、ガス

漏れ検知器等の設備を設置する。

- 毒性ガスボンベは局所排気されたシリンダーキャビネット内に設置する。
- 毒性ガスを待機中に放出するときは完全に無害な状態にしてから放出する。
- 毒性ガスにはボンベの腐食、さび、劣化を招きやすいものが多く、ボンベの管理には十分な注意を払い、長期間の貯蔵は避け、業者に引き取らせる。

(3) 支燃性ガス

支燃性ガスは可燃性ガスの燃焼（酸化反応）を支えるガスで、空気（酸素）、一酸化窒素、オゾン、フッ素、塩素、三フッ化窒素等がある。可燃性ガスと支燃性ガスがあって初めて燃焼が進行するので、防火・防爆を考える場合には支燃性ガスの管理も重要である。支燃性ガスによって可燃性ガスの燃焼限界が変化するので注意を要する。

高圧ガス装置やガスボンベ等の取り扱いについては、4.5節を参照すること。

化学では多種類の物質を扱うため、本節で個々の物質すべてについて説明を記すことは不可能である。このほかの物質を取り扱う場合にも、専門書等でそれぞれの物質の物理的・化学的諸性質を事前によく調べ、安全策を充分講じた上で取り扱わねばならない。

また、研究の内容によっては、このほかに更に指導者等からの専門的知識を補足し、それぞれ適切な防災対策を立てた上で実験を行うことが必要である。

8. 3 実験室における危険と予防

実験室において、火災と爆発の発生は最も危険で、重大な被害をもたらす。このほかにも、有害性物質による中毒や障害の可能性も大きい。化学物質と関係する火災、爆発、中毒、障害について、以下に主なことを説明する。

8. 3. 1 火災の危険と予防

火災や爆発を生じる可能性がある危険物とその指定数量が消防法により定められていて、指定数量以上の危険物の貯蔵や取り扱いは、許可を受けた施設において、政令に定める技術上の基準に従わなければならない。化学実験室における危険物の保存と取り扱いは、少量といえども特に注意しなければならない。以下に、自然発火する物質、禁水性物質、引火性液体について補足説明する。

(1) 自然発火性物質による火災

- 黄リンは、空気に触れると自然発火するので、完全に水を満たした瓶中に貯蔵する。このほかに、ラネーニッケル、還元白金、還元パラジウムなどの金属も水の中に保存し、決して空気に晒してはならない。使用済みのラネーニッケル、還元パラジウム、還元に用いた亜鉛末、あるいはこれの付着した濾紙は水中に貯蔵する。
- 空気に触れると発火する有機アルミニウム、有機リチウム化合物、シラン、ホスフィンなどは、密閉容器中またはアンプル中に保存する。
- 危険物の異なる類に属する物質は、混合接触することにより火災発生の危険性が増すものも

あるので注意すること。その他、硝酸アンモニウムと有機化合物、過塩素酸または塩素酸の塩と有機化合物、濃硫酸、硝酸などで湿った布片などは自然発火の恐れがある。

(2) 引火性物質による火災

- 一般に、沸点の低い有機溶媒には室温で引火しやすいものが多い。これらの溶媒の蒸気の比重は、一般に空気の比重よりも大きい(空気の見かけの分子量 29 より分子量が大きい)ため、実験台や床の上をはって移動するので、遠くの火種でも引火しやすい。また、引火性液体の加熱には決して裸火を用いてはならない。さらに、室内で引火性液体を取り扱っている間は、すべての裸火を消しておかなければならない。
- 引火性溶媒を用いた器具は、まず毒性の低い有機溶媒(エタノール等)で洗い、最後に必要であれば水で洗う。この場合、近くの瞬間湯沸器の火種は必ず消しておくこと。エーテル抽出操作後の水層を流しに捨てて、湯沸器の火を引き火事に至った例がある。
- 引火性溶媒の入った容器の上部空間には溶媒蒸気が充満し、引火性あるいは爆発限界になっていることが多く、引火や爆発などの重大な事故につながることも多い。
- 引火性溶媒の付着した濾紙や引火性の乾燥剤をそのまま実験台の屑箱に捨ててはならない。なお、水溶性の乾燥剤は、水に溶かして中和後、有機物質を含まないものは実験洗浄系流し(リン酸塩は生活系流し)に流す。
- 有機溶媒の乾燥に用いる金属ナトリウム線またはナトリウム片の細片が瓶の口付近で露出し、吸湿発火して引火し、しばしば大事に至ることがある。また、不用の金属ナトリウムはメタノールと反応させ、安全な形に処理しなければならない。
- 有機溶媒を沸騰させるときには、加熱を始める前に必ず沸騰石を入れておく。加熱開始後、入れ忘れたことに気付いた場合には、必ず沸点よりもかなり低い温度に一旦冷却した後、沸騰石を加える。加熱状態の液体に沸騰石(または活性炭など)を入れると突沸し、引火の原因となる。
- 裸火のほか、スイッチの接点、モーターなどのスパークが火種となって引火する場合もあるので、実験室の恒温槽、モーターの使用の有無、冷蔵庫の有無にも注意が必要である。

(3) 液体や固体の爆発

液体や固体の爆発には、(a) 化合物自体が不安定で熱や衝撃により爆発する場合と(b) 化合物単独では安定であるが混合接触したときに起こる爆発とがある。

(a) 硝酸エステル類(ニトログリコール、ニトログリセリン、ニトロセルロースなど)、ニトロ化合物(トリニトロベンゼンなどのポリニトロ化合物)、有機過酸化物(過酢酸、エチルメチルケトン過酸化物など)、その他、表 8-1 の爆発性化学物質などがある。

(b) アルカリ金属-ハロゲン、硝酸カリウム-イオウ-木炭(黒色火薬)など多くの例がある。表 8-2 に混合すると爆発の危険性がある物質の例をまとめて示す。また、表 8-2 や上述の例のほかに、化学実験室でよく用いられるエーテルおよびテトラヒドロフラン(THF)の取り扱いには充分注意する必要がある。エーテル類は、空気に触れると過酸化物になりやすい。生成した過酸化物は一般に爆発性であり、しかもエーテルより高沸点である。したがって、エーテル類を蒸留する際、フラスコ中に過酸化物が濃縮され、激しい爆発を起こすことがあるので、決して乾固近くまで蒸留してはならない。ブタジエン、塩化ビニルのような不飽和化合物も爆発性の過酸化物

を生成しやすい。

エーテルの保存は、酸化防止剤（鉄粉あるいは銅粉など）を入れ、空気に触れないようにして冷暗所に置いておくとよい。

長期保存したエーテル類は、多量の過酸化物を生成している場合があるので、使用前に過酸化物の存在をヨウ化カリウムでんぷん紙（酸化剤とヨウ化物イオンが反応、ヨウ素を生成し青藍色を呈する）で確認すること。もし、過酸化物が存在している場合には、還元剤（硫酸鉄、亜硫酸水素ナトリウム、塩化スズ（II）、水酸化セリウム（III）など）を加えて除く。

8. 3. 2 化学物質による中毒、障害と予防

化学物質には、口から取り込んだ場合（経口）、呼吸器を通して吸収した場合（経気道）はもちろんのこと、皮膚からの吸収（経皮）により、中毒を起こすもの、皮膚に付着して炎症、水泡、潰瘍などを引き起こすもの、眼に入って失明させるもの（強アルカリなど）など、毒物・劇物に分類されるものも多い。また、中毒や障害が直ちに現れる急性的なもの、暫く経って水泡、激しい痛みなどを生じるもの（氷酢酸、過酸化水素水などの皮膚への付着）、少量ではあまり害はないが、長期にわたる接触などにより蓄積されて起こる長期（慢性）的なものがある。このほかにも、特殊毒性（突然変異原、局所刺激、アレルギー、発癌性など）を示す物質もある。したがって、実験室で取り扱う化学物質は、安全性が充分確認されているもの以外はすべて有害物質と疑うべきであり、決して薬品を口に入れたり、直接手で触れたりしてはならない。これらの取り扱いには、実験者の心得、実験室での注意事項を厳守するとともに、物質の取り扱い方法を熟知し、また、不明な点は事前に指導者の助言を得なければならない。2.4節を参照のこと。

8. 4 実験機器の取り扱い

化学実験では、目的に応じてさまざまな実験器具や実験機器を取り扱う。通常、実験に使用する器具や機器には使用者の安全に対する配慮が施されているが、原理や正しい取り扱い方法について十分に熟知しておくことが前提である。また、使用する機器独自の注意点があつたり、使用に関するルールが設定されている場合もあるので、指導者や機器管理者の指示に従って、指導やトレーニングを経てから使用することが望ましい。

一般的な実験機器の取り扱いについては、第4章において説明されている。化学実験では、高圧ガスや圧力容器を取り扱ったり、ガラス器具を用いて化学反応を行うことが多い。これらの取り扱いについては、それぞれ、4.2節、4.3節の各節を参照のこと。

8. 4. 1 蒸留・濃縮・分留操作

水冷却器の使用時の事故が多いので、火災や漏水を防ぐために細心の注意を払わなければならない。

- 水流の停止は火災の原因となるので、通水 5～10 分後に必ず水が所定の流量で流れていることを確認すること。
- 無人運転中の断水による加熱を防ぐために、圧力型断水リレーを用いて加熱装置の電源が切

れるようにすること。

- ゴム管を利用している場合、夜間や休日の水圧上昇のためにゴム管が抜けたり、先が踊って流しなどから飛び出したりすることがある。必ず、ホースバンドや締め具を用いて完全に固定すること。流しなどのドレン側も飛び出さないように固定すること。また、ゴム管は劣化するので、使用前に必ずひびの有無を確認し、ひびがある場合は交換すること。

8. 4. 2 高エネルギー装置

化学実験では、材料の合成や分析を目的として、X線回折装置、レーザー装置、スパッタ装置、NMR装置などを多用する。これら装置では、直流または高周波の高電圧を扱い、高エネルギーの電磁波を発生する。したがって、感電や電気災害に留意するのはもちろんのこと、被曝や火傷などの放射線障害を生じたり失明したりする恐れ、場合によっては、生命に危険が及ぶことについても細心の注意を払わなければならない。

一般的注意

- 高エネルギー装置の設置場所には、危険区域であることを表示する。また、部外者は立ち入らせないこと。
- 特に危険な場所（高電圧部、X線など高エネルギー電磁波の放出部）にはみだりに立ち入らないこと。
- 装置の調整や修理が必要なときは、必ず担当職員に報告し、指示を仰ぐ。
- 小型の変圧器であっても充分注意する。
- 高電圧帯電部が挿入されている真空槽の真空を不用意にリークさせると通電することがある。
- 15 kV以上の高電圧は、X線を発生する恐れがある。
- 高電界や高磁界が人体に与える弊害については不明な点が多いが、これらに近づくことはできるだけ避けた方がよい。

8. 4. 3 X線回折装置，蛍光X線装置

物質の構造や組成を分析する目的でX線の発生を伴うX線回折装置や蛍光X線装置が利用される。市販されている一般的な機器の場合、放射線管理区域が装置内部（試料室）のみに設定され、遮蔽された照射ボックスやインターロック等の仕組みにより、通常の使用で実効線量が限度を超えないように設計されている場合が多い。しかし、これらの機器を使用する場合は、装置ごとの放射線管理区域の設定を意識し、正しい知識と操作により安全を確保する必要がある。X線発生装置の取り扱いについては、4.5.5項を参照すること。

8. 4. 4 高周波スパッタリング装置

スパッタリング装置は、低電流ではあるが高電圧のマイクロ波発生装置、プラズマ発生用コイル、水冷ユニットが組み込まれている。このため、電流漏れによる感電の危険性がある。また、観察用窓からは高周波電磁場が漏れているので、観察時以外は閉じておく必要がある。

8. 4. 5 超伝導NMR装置

超伝導 NMR 装置は、高い磁場と電磁波を発生している。測定室内では、心臓ペースメーカーの作動に障害が発生し、ペースメーカー使用者は、深刻な損傷を受けたり、最悪の場合には死亡することもある。必ず、入室前に安全性について指導者に相談し、その指示に従う。また、鉄製工具、実験器具、クリップ、ピンなどの持ち込みは原則として禁止されている。必要が生じた場合は、機器管理者に相談すること。

8. 5 実験・実習中に起こった過去の事故例

- 無水クロム酸 50 kg 入りの容器を地面に置いたときに爆発した。(容器が酸化されやすい物質で汚染されていたため)
- 標準的な硫酸-二クロム酸塩洗浄液を入れたねじ込み式のキャップのついた瓶が爆発した。(洗浄液が使用されたときに有機物が溶け込み、内圧が上昇したため)
- 約 2 cm 角の金属カリウムを乾燥しステンレス鋼製の刃で薄切りにした。かなりの回数切った後、金属カリウム片が突然爆発、炎上した。(カリウムは、たとえ鉱油の中でも過酸化物質や超過酸化物質を生成する。これらの酸化物質が少しの衝撃で激しく爆発したため)
- ニトロ化の反応物を蒸留中、少なくなった残液が爆発した。(蒸留残液のポリニトロ化合物が爆発したため)
- 古いエーテルを用いた抽出液からエーテルを留去し、残物質を乾燥器で加熱乾燥したら、爆発して乾燥器の扉が壊れた。
- テトラヒドロフランの回収蒸留を、残液を残して何度か同じフラスコで行ったら爆発した。(テトラヒドロフランの過酸化物質の生成による)
- トルエン蒸留中、入れ忘れていた沸騰石を慌てて加えたため突沸し、引火した。
- 可燃性有機溶媒が残存する容器をガラス細工しているとき、溶媒蒸気に引火、爆発して負傷した。
- フラスコをアセトンで洗って乾燥器の中で乾燥しようとしたところ、の追っていたアセトンが気化し、乾燥器のヒーターにより引火爆発した。
- 潤滑油を高温度で減圧蒸留し、終了後、直ちに減圧コックを開いたら、フラスコに空気が入って引火爆発した。
- 液体アンモニアを用いて実験中、反応温度が上昇し、アンモニアガスが噴出し顔にかかった。
- フェノールを用いた実験中、手に付着したのを知らずに放置していたところ、数日後に火傷の症状が現れた。
- 揮発性物質の入ったガラス容器を密閉したまま加熱したところ、爆発を起こし、破片の一部が眼に刺さった。

【参考文献】

本章を作成するにあたって、下記の文献を参考にさせていただきました。ここに謝意を表します。

- 化学同人編集部編：「実験を安全に行うために」第3版（1988），化学同人
- 日本化学会訳編：「化学実験の事故と安全」（1988），丸善
- 化学実験テキスト研究会編：「基礎実験」，産業図書
- 大阪大学教養部化学教室編：「基礎化学実験 改訂版」第2版（1977），学術図書出版
- 綿拔邦彦，務台潔，矢野良子，塚田秀行著：「化学実験の基礎」，培風館
- 日本化学会編：「改訂第3版 化学実験の安全指針」，丸善
- 岡山大学工学部安全委員会編：「実験・実習における安全の手引き 第5版」
- 岡山大学理学部安全委員会編：「実験・実習における安全の手引き」
- 岡山大学薬学部安全委員会編：「安全指針」
- 広島大学工学部「安全の手引き」作成委員会編：「工学部安全の手引き」
- 大阪大学学生生活委員会編：「安全のための手引き（化学・生物・電気系）」
- 大阪大学学生生活委員会編：「安全のための手引き（高圧ガス・液化ガスの取り扱い）」

表 8-1 危険物化学物質の分類と代表的物質

危険性区分	危険物の種類および程度	代表的物質
発火性	水との接触によって発火するもの、または空气中における発火点 40℃未満のもの	トリエチルアルミニウム、黄リン（金属ナトリウム、金属カリウム）
引火性	可燃性ガス、または引火点 30℃未満のもの	メタン、アセチレン、プロパン、硫化水素、水素、水性ガス、石炭ガス、二硫化炭素、ベンゼン、トルエン、キシレン、エチルアミン、ピリジン、酢酸エチル、酢酸ペンチル、アセトン、メタノール、エタノール、イソプロパノール、ブタノール、石油エーテル、ガソリン
可燃性	引火点が 30℃以上、100℃未満のもの、ただし引火点 100℃以上でも発火点の比較的低いもの	白灯油、アクリル酸、2-アミノエタノール、ミネラルスピリット、エチレングリコールモノエチルエーテル、プロピレン、グリコール、（氷）酢酸、酢酸ペンチル、アニリン、軽油、ニトロベンゼン、ナフタレン、パラアルデヒド
爆発性	重量 5 kg の落ついを用い、落高 1 m 未満で分解、爆発するもの、または加熱により分解、爆発するもの	過塩素酸アンモニウム、過酸化ベンゾイル、硝酸アンモニウム、硝酸グアニジン、ピクリン酸、トリニトロトルエン、亜塩素酸ナトリウム
酸化性	加熱、圧縮、または強酸、アルカリなどの添加によって強い酸化性を表すもの	塩素酸カリウム、過塩素酸、過酸化バリウム、亜硝酸ナトリウム
禁水性	吸湿または水との接触によって発熱または発火するもの、または有毒ガスを発生するもの	金属ナトリウム、金属カリウム、炭化カルシウム、三塩化リン、水素化リチウム、水素化アルミニウムリチウム
強酸性	無機または有機の強酸類	硫酸、硝酸、クロロ硫酸、フッ化水素、クロロ酢酸、ギ酸
腐食性	人体に接触したとき皮膚、粘膜を強く刺激し、または損傷するもの	アンモニア水、過マンガン酸カリウム、硝酸銀、サリチル酸、クレゾール、トリメチルアミン
有毒性	許容濃度（吸入）50 ppm 未満、または 50 mg/m ³ 未満のもの、または経口致死量 30 mg 未満のもの	亜ヒ酸ナトリウム、塩化ベリリウム、シアン化ナトリウム、塩化エチレン、ニコチン
有害性	許容濃度（吸入）50 ppm 以上 200 ppm 未満、または 50 mg/m ³ 以上 200 mg/m ³ 未満のもの、または経口致死量 30 mg 以上 300 mg 未満のもの	クロム酸鉛、酸化鉛、臭化カドミウム、トリクロロエチレン、トルエン、ペンタクロロフェノール
放射性	原子核壊変によって電離放射線を放出する核種を含むもの、ただしその比放射能が天然カリウムの比放射能以下のものを除く	酸化トリウム、硝酸ウラニル、フッ化ウラン

（日本化学会編：「化学実験の安全指針」より）

表 8-2 物質 A と物質 B の混合により爆発の危険性がある物質

	物質 A	物質 B
(1)	アルカリ金属, アルミニウム粉, マグネシウム粉	四塩化炭素, その他の塩化炭素, 二硫化炭素, ハロゲン
(2)	カリウム, ナトリウム	四塩化炭素, 二酸化炭素水
(3)	銅	アセチレン, 過酸化水素水
(4)	銀	アセチレン, シュウ酸, 酒石酸, 雷酸, アンモニウム化合物
(5)	水銀	アセチレン, 雷酸, アンモニア
(6)	塩素, 臭素	アンモニア, アセチレン, ブタジエン, ブタン, メタン, プロパン, 水素, ナトリウム, カーバイド, テレピン油, ベンゼン, 微粉碎した金属
(7)	ハロゲンおよびその化合物: F ₂ , Cl ₂ , Br ₂ , I ₂ , 三フッ化塩素, 三フッ化臭素, 五フッ化塩素など	アミン: アンモニア, ヒドラジン, ヒドロキシルアミンなど, アジド: アジ化ナトリウム, アジ化銀など
(8)	ヨウ素	アセチレン, アンモニア, 水素
(9)	フッ素 (酸化力大)	多くの化合物
(10)	二酸化塩素	アンモニア, メタン, ホスフィン, 硫化水素
(11)	塩素酸塩	アンモニウム塩, 酸類, 金属粉, 一般に微粉碎した有機物あるいは可燃性物質
(12)	過塩素酸	無水酢酸, ビスマスおよびその合金, アルコール, 紙, 木材
(13)	過マンガン酸カリウム	エタノール, メタノール, 氷酢酸, 無水酢酸, ベンズアルデヒド, 二硫化炭素, グリセリン, エチレングリコール, 酢酸エチル, 酢酸メチル, フルフラール
(14)	過酸化水素	二酸化マンガン, 酸化水銀, 銅, クロム, 鉄, 多くの金属, あるいはそれらの塩, アルコール, アセトン, 有機物, アニリン, ニトロメタン, 可燃材料, 引火性液体
(15)	アンモニア (無水)	水銀, 金, 銀化合物等, 塩素, 次亜塩素酸カルシウム, ヨウ素, 臭素, 無水フッ化水素酸
(16)	クロム酸	酢酸, ナフタリン, ショウノウ, グリセリン, テレピン油, アルコール類
(17)	無水フッ化水素酸	アンモニア
(18)	硝酸	酢酸, アニリン, クロム酸, 硫化水素, 引火性液体, 引火性ガス
(19)	強酸	塩素酸カリウム, 過塩素酸カリウム, 過マンガン酸塩, 過酸化ベンゾイル, ニトロソアミン
(20)	炭化水素	フッ素, 塩素, 臭素, クロム酸, 過酸化ナトリウム
(21)	アセチレン	フッ素, 塩素, 臭素, 銀, 水銀, 銅, コバルト
(22)	アニリン	硝酸, 過酸化水素
(23)	シュウ酸	銀, 水銀
(24)	アジ化ナトリウム	金属: 銅, 亜鉛, 鉛など
(25)	過硫酸	二酸化マンガン
(26)	引火性液体	硝酸アンモニウム, クロム酸, 過酸化水素, 硝酸, 過酸化ナトリウム, ハロゲン
(27)	酸化性物質: KMnO ₄ , NaClO ₄ , K ₂ Cr ₂ O ₇ , KNO ₃ , HNO ₃ , H ₂ SO ₄ , ハロゲンなど	可燃性物質: リン, 硫黄, 活性炭, Mg, Zn, Al, シラン, ホスフィン, アルシン, 炭化水素, アルコール, アミンなど

