

第2章 化学実験

2.1 はじめに

化学実験を行う際に最も重視しなければならない点は「安全に実験を行う」ことである。しかし、不幸なことに、化学系実験室における事故は未だに後を絶たない。では、なぜ事故が起きるのか？ それは多くの場合、化学実験を行う上で必要な危険性に関する知識の欠如と、実験操作上の不注意とに起因している。身近な例として料理を考えてみよう。もし、「新鮮でない鶏肉は十分に火を通さないと危険」ということを知らない人が鶏肉を調理したらどうなるだろう。包丁を扱う際に注意が散漫になっていたらどうなるだろうか。やはり事故は起こるだろう。日常生活においても、危険性に関する知識を十分に持って注意深く作業をすれば、多くの事故を防ぐことができるのと同様に、化学実験においても取り扱う物質や装置の危険性を知り、注意深く実験を行うことで多くの事故を避けることができる。危険性を把握することで事故を未然に防ぐことに加え、万一の事故に際して迅速かつ適切な対処を行うこともまた重要であり、そのためにも化学実験における知識が大切である。さらに、化学実験に伴う廃棄物の処理に関する知識もまた、環境汚染などを防ぐ意味で非常に重要である。この章では、化学実験を安全に行うために必要な、化学物質の性質や保管管理方法、廃棄方法、実験器具の取り扱い方法について述べるが、本マニュアルの関連ページを参照し、より詳細な知識を得ることも大切である。なお、高圧ガスについては第12章を参照のこと。



2.2 危険・有害な物質の取り扱い

実験室で使用する化学物質は試薬とよばれるが、それぞれ固有の危険要因を有しているため、絶対に安全というものはない。本項は「危険・有害な物質の取り扱い」に関して、「第7版 実験を安全に行うために 化学同人編集部（化学同人）」（参考文献 [2-1]）を参考にまとめており、とくに「事故例」などの詳細はその文献を参考にすることが望ましい。

化学物質は、「火災や爆発のおそれがある危険な物質」、および「人の健康に有害な物質や環境を汚染するおそれのある有害な物質」という側面から見て、「危険な物質（危険物、高圧ガス）」および「有害な物質（有害物質、環境汚染物質）」に区分され、表 2.2.1 に示すように、それぞれの法令によって規制を受けている。

表 2.2.1 危険・有害な物質の区分と関係する法令

分類	特徴	関係する法令
危険な物質		
危険物	発火、引火、起爆しやすく、火災や爆発を起こすおそれがある液体や固体	消防法、火薬類取扱法、労働安全衛生法施行令
高圧ガス	加圧や液化して取り扱われ、急激な体積膨張のおそれがある気体、火災、爆発、または中毒、酸欠を起こすおそれがあるもの	高圧ガス保安法 労働安全衛生法施行令
有害な物質		
有害物質	強い毒性があり、急性中毒を示すものから、弱い毒性ながら、長期にわたり接種し続けると、健康障害を起こすおそれがあるものまで、広く人の健康に有害なもの	毒物および劇物取締法、労働安全衛生法関係の各規則（有機則、特化則、鉛則、四アルキル鉛則、石綿則、粉じん則）
環境汚染物質	環境に排出すると人の健康や生態系に影響を与えるおそれがあるもの	公害環境関係の諸法令

一方、労働者の保護を目的として、化学物質について労働安全衛生法関係法令が規定されており、本学では、労働安全衛生法関係法規が適用されている。また、実験にたずさわる者の立場として、労働災害の防止、職場における労働者の安全と健康の確保、および快適な職場環境の形成を目的として、1972年に労働安全衛生法が法制化されていることを認識しておくべきである。さらに、労働安全衛生法の関係法規類が種々制定されており、事故を防止するために、化学物質の使用や保管、廃棄にはそれらの関係法令を具体的な基準と考えて取り扱うことが望ましい。

一般的注意を以下に記載する。

1. はじめて取り扱う物質は、その危険性や有害性について十分に調べておかなければならない。多くの化学物質に関するデータベースとして、「安全データシート」(SDS = Safety Data Sheet) (従



来はMSDS = Material Safety Data Sheet と呼ばれていた。)および「国際化学物質安全性カード」(ICSC = International Chemical Safety Cards) がインターネットによってアクセス可能である(表2.2.2参照)。

- 法令で規制されている物質、およびこれに類する物質は、法令を基準として慎重に取り扱う。特に注意が必要な物質については、本マニュアル2.3節で管理方法を記載しているので、それを知っておく必要がある。
- 危険物や有害物を使用する際には、災害を予想して十分な防護手段を考える。もし事故が起きたときは、被害を最小にとどめるよう処置することが必要であるが、人命救助を第一に考える(本マニュアル1.3節および17章を参照)。
- 使用済み物質の廃棄は、法令に従って行う(本マニュアル2.5節および17章を参照)。
- 万が一、危険物や有害物を紛失した場合には、ただちに指導者に届け出る。



表2.2.2 化学物質に関する情報

一般書籍	化学大辞典 化学大辞典 The Merck Index 15版 化学便覧 改訂5版 基礎編 化学物質ファクトシート	共立出版 東京化学同人 Merck 丸善 環境省環境保健部環境安全課
消防法危険物	http://www.fdma.go.jp/	総務省消防庁
毒物・劇物	http://www.nihs.go.jp/law/dokugeki/dokugeki.html http://toxnet.nlm.nih.gov/	国立医薬品食品衛生研究所 米国 TOXNET
PRTR 対象物質	http://www.env.go.jp/chemi/prtr/db/db.php3 http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/law/prtr/2.html	環境省 経済産業省
化学物質全般 (SDS など)	http://www.nies.go.jp/ http://www.aist.go.jp/riss/crm/ http://www.cerij.or.jp/ http://www.nite.go.jp/ http://www.jetoc.or.jp/ http://www.jisha.or.jp/chemicals/ http://www.nihs.go.jp/kanren/kagaku.html	(独) 国立環境研究所 (独) 産業技術総合研究所 (財) 化学物質評価研究機構 (独) 製品評価技術基盤機構 (社) 日本化学物質安全・情報センター 中央労働災害防止協会 国立医薬品食品衛生研究所

2.2.1 危険物

危険物とは「火災や爆発を起こす物質」である。消防法では危険物は固体と液体を対象としており、表 2.2.3 のように分類されて規制を受ける。

表 2.2.3 消防法における危険物の分類

消防法における分類	特 徴
第1類 酸化性固体	酸素を出して可燃物と反応し、火災や爆発を起こす固体
第2類 可燃性固体	低温で引火、着火しやすい固体
第3類 自然発火性物質および禁水性物質	空気または水と反応して発火する物質
第4類 引火性液体	引火しやすい液体
第5類 自己反応性物質	熱や衝撃で着火、燃焼、爆発を起こす物質
第6類 酸化性液体	可燃物と反応して燃焼を促進する液体

2.2.1.1 酸化性固体（消防法第1類）

酸化性固体とは、「酸化されやすい物質（可燃物・有機物・還元性物質・金属粉など）と混合して加熱すると発火して激しく燃焼する固体の酸化剤」であり（表 2.2.4 参照）、次の場合には爆発するおそれがある。

1. 物質自体が不安定で、加熱・衝撃・摩擦によって爆発する。
2. 酸化されやすい物質と混合すると、加熱・衝撃・摩擦によって爆発する。
3. 強酸を加えると爆発する。
4. 水と激しく反応して発熱し、量が多いと爆発のおそれがある。
5. 潮解性があり、木や紙にしみこんだのち乾燥すると、爆発することがある。

【取り扱い上の注意】

1. 火気や熱源から遠ざけ、密栓をして冷暗所に貯蔵し、衝撃を与えないように注意する。
2. 酸化されやすい物質と混合したり、酸や水と接触させないように注意する。
3. 潮解性のあるものは密封し、防湿に注意する。
4. 不安定なものは長期間保管せず、適宜、廃棄するように心掛ける。

【防護方法】

爆発のおそれがあるときは、ごく少量であっても保護眼鏡や防災面を着用し、万一の爆発に備えておくこと。使用量が多い場合には、防爆壁を用いて遠隔操作をするなど、事前検討を十分に行う必要がある。

【消火時の注意】

火災に関しては、一般に大量の水を注ぎ、冷却消火する。ただし、アルカリ金属酸化物には水は不適であり、粉末消火器（炭酸水素塩類など）か砂を用いる必要がある。

表 2.24 主な酸化性固体（消防法第1類）

分類	化合物の例
塩素酸塩類	NaClO ₃ KClO ₃ NH ₄ ClO ₃ など
過塩素酸塩類	NaClO ₄ KClO ₄ NH ₄ ClO ₄ など
無機過酸化物	K ₂ O ₂ Na ₂ O ₂ CaO ₂ BaO ₂ MgO ₂ など
亜塩素酸塩類	NaClO ₂ など
臭素酸塩類	KBrO ₃ など
硝酸塩類	NaNO ₃ KNO ₃ Ba(NO ₃) ₂ AgNO ₃ NH ₄ NO ₃ など
よう素酸塩類	NaIO ₃ KIO ₃ など
過マンガン酸塩類	NaMnO ₄ KMnO ₄ など
重クロム酸塩類	Na ₂ Cr ₂ O ₇ K ₂ Cr ₂ O ₇ (NH ₃) ₂ Cr ₂ O ₇ など
過よう素酸塩類	NaIO ₄ KIO ₄ など
過よう素酸	HIO ₄
クロム、鉛またはよう素の酸化物	CrO ₃ PbO ₂ I ₂ O ₅ など
亜硝酸塩類	NaNO ₂ KNO ₂ Ba(NO ₂) ₂ AgNO ₂ など
次亜塩素酸塩類	Ca(ClO) ₂ など
塩素化イソシアヌル酸	塩素化イソシアヌル酸
ペルオキシニ硫酸塩類	K ₂ S ₂ O ₈ など
ペルオキシほう酸塩類	NH ₄ BO ₃ など
炭酸ナトリウム過酸化水素付加物	炭酸ナトリウム過酸化水素付加物

2.2.1.2 可燃性固体（消防法第2類）

可燃性固体とは、「低温で引火しやすく、引火すると激しく燃焼する固体」であり（表 2.25 参照）、次のような危険がある。

1. 酸化剤と混合すると爆発のおそれがある。
2. その粉じんに引火すると爆発することがある。
3. 強い摩擦によって引火する。
4. 空気中の湿気によって、または油布や切削くずと接触すると自然発火する。
5. 水と反応したとき、または燃焼したときに有毒ガスを発生する。

【取り扱い上の注意】

1. 火気や熱源から遠ざけ、冷暗所に保管し、酸化性物質と接触しないように注意する。
2. 硫化リンと金属粉は、とくに水分との接触を避けること。

【防護方法】

使用量が多い場合には、マスクと手袋を用いる。

【消火時の注意】

水と接触して発火し、または有毒ガスや可燃性ガスを発生させるものは、砂や粉末消火器を用いる。それ以外（赤リン、硫黄など）は注水消火を用いる。少量の時は、CO₂ 消火器の利用も可能である。

表 2.2.5 主な可燃性固体 (消防法第2類)

分類	化合物の例
硫化りん	P_4S_3 P_2S_5 P_4S_7 など
赤りん	P
硫黄	S
鉄粉	Fe
金属粉	Al Zn Mo Si Sb Co In など
マグネシウム	Mg
引火性固体	固形アルコール ゴムのり ラッカーパテ など

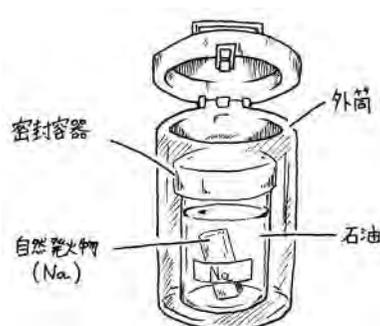
2.2.1.3 自然発火性物質および禁水性物質 (消防法第3類)

自然発火性物質および禁水性物質とは、「空気にさらされて自然発火したり、水と接触すると発火して可燃ガスを発生したりするもの」であり (表 2.2.6 参照)、次のような危険がある。

1. 空気に触れると自然発火する。
2. 水と激しく反応して発火し、ときには爆発して飛散することがある。
3. 酸化剤と混合すると、爆発のおそれがある。
4. 水と反応して可燃ガスを発生し、引火のおそれがある。
5. 燃焼すると有毒ガスを発生する。

【取り扱い上の注意】

1. 自然発火性物質は空気に触れないように密封し、可燃物から離して保管すること。とくに、水や石油の保護剤に浸漬したもの、または不活性ガスで封入したものは、外筒に入れて破損に注意すること。
2. 禁水性物質は水分に触れないように密封し、床面より高い乾燥した冷暗所に保管する。禁水性物質のほとんどは自然発火性物質でもあるので、前項の注意も必要である。
3. 溶剤で希釈したものは、溶剤の蒸発にも注意する。



【防護方法】

直接に素手で触れてはいけない。ゴム手袋などを用い、毒性のあるものを使用する時には、防毒マスクを用いること。

【消火時の注意】

一般に乾燥砂や金属専用の消火器を使用する。炭酸水素塩類の粉末消火器はよいが、注水すること、および水系の消火器の使用は厳禁である。

表 2.2.6 主な自然発火性物質および禁水性物質 (消防法第3類)

分類	化合物の例
カリウム	K
ナトリウム	Na
アルキルアルミニウム	$(CH_3)_3Al$ $(C_2H_5)_3Al$ $(C_2H_5)_2AlCl$ など

アルキルリチウム	CH_3Li $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{Li}$ $\text{C}_6\text{H}_5\text{Li}$ など
黄りん	黄りん
アルカリ金属（カリウム及びナトリウムを除く）およびアルカリ土類金属	Li Ca Ba など
有機金属化合物（アルキルアルミニウムおよびアルキルリチウムを除く）	$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Zn}$ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ など
金属の水素化物	LiH NaH CaH_2 など
金属のりん化合物	Ca_3P_2 など
カルシウムまたはアルミニウムの炭化物	CaC_2 Al_4C_3 など
塩素化けい素化合物	SiHCl_3 など

2.2.1.4 引火性液体（消防法第4類）

引火性液体とは「引火性のある液体」であり（表 2.2.7 参照）、引火性の強さによって次のように区分されている。

特殊引火物	1気圧で、発火点が100℃以下、又は引火点が-20℃以下で沸点が40℃以下のもの。
第1石油類	1気圧において引火点が21℃未満のもの（室温で引火性が高い）
アルコール類	炭素数3以下の1価アルコール（室温で引火性が高い）
第2石油類	1気圧において引火点が21～70℃のもの（加熱時に引火する）
第3石油類	1気圧、20℃において液体であり、引火点が70～200℃のもの（加熱時に蒸気または分解ガスに引火する）
第4石油類	1気圧、20℃において液体であり、引火点が200～250℃のもの（加熱時に蒸気または分解ガスに引火する）
動植物油類	1気圧、20℃において液体の動植物由来の油であり、引火点が250℃未満のもの（加熱時に蒸気または分解ガスに引火する）

また、上記の区分に関わらず、以下の爆発や障害の危険がある。

1. 発火点が低く、爆発的に燃焼する。
2. 低沸点で爆発下限が低く、引火しやすく、爆発のおそれがある。
3. 光と空気に長時間触れると、過酸化物が生じて爆発する。
4. 熱または光で分解し、爆発するおそれがある。
5. 重合により発熱し、反応が暴走して爆発する。
6. 移送中に静電気を発生して引火しやすい。
7. 布などにしみこんだものは、自然発火することがある。
8. 揮散ガスが有毒である。

【取り扱い上の注意】

引火性の高いものは、なるべく小分けして、風通しがよく、火気（スイッチ・赤熱体・静電火花など）から離れた場所に保管し、とくに容器からの蒸気のもれがないように注意する。本学においては、所定量以上の引火性液体は危険物屋内貯蔵所（溶媒庫）に保管する。

【防護方法】

使用量が多い場合には、保護マスクや綿製手袋を用い、毒性のあるものを扱うときは防毒マスク、ゴム手袋を用いる。また、十分換気のできる条件で取り扱い、とくにドラフトの中で取り扱うべきである。

【消火時の注意】

少量の引火にはCO₂消火器や粉末消火器などを使い、火災が拡大したときは、泡消火器や霧状の強化液消火器を用いる。大量の注水では、危険物が水に浮いて火災範囲を広げるおそれがあるので、十分に注意する必要がある。

表 2.27 主な引火性液体（消防法第4類）

分類	化合物の例
特殊引火物	ジエチルエーテル、二硫化炭素、アセトアルデヒド、酸化プロピレンなど
第1石油類（非水溶性）	ガソリン、ヘキサン、トルエン、酢酸エチル、メチルエチルケトンなど
第1石油類（水溶性）	アセトン、ピリジンなど
アルコール類（水溶性）	メタノール、エタノール、n-プロパノール、i-プロパノールなど
第2石油類（非水溶性）	灯油、軽油、キシレンなど
第2石油類（水溶性）	酢酸（氷酢酸）など
第3石油類（非水溶性）	重油、クレオソート油、アニリン、ニトロベンゼンなど
第3石油類（水溶性）	グリコール、グリセリンなど
第4石油類	潤滑油（ギヤ油、シリンダー油、タービン油、マシン油、モーター油）、リン酸トリクレジル、セバシン酸ジオクチルなど
動植物油類	ヤシ油、パーム油、オリーブ油、ヒマシ油、落花生油、ナタネ油、米ぬか油、ゴマ油、綿実油、トウモロコシ油、ニンジン油、ダイズ油、ヒマワリ油、キリ油、イワシ油、アマニ油、エノ油など

非水溶性と水溶性の区分は、消防法危険物指定数量（貯蔵量）に関係する。

2.2.1.5 自己反応性物質（消防法第5類）

自己反応性物質とは、「加熱・衝撃・摩擦・光などによって自己反応を起こし、発熱して爆発的に反応が進む物質」であり（表 2.28 参照）、次のような危険がある。

1. 加熱、衝撃、摩擦、光などによって爆発する。
2. 強酸との接触によって燃焼したり、爆発する。
3. 有機物、ハロゲン、硫黄などとの混合により、燃焼したり、爆発する。
4. 自然分解を起こして発火し、爆発することがある。
5. 分解ガスが爆発を起こすことがある。
6. 引火性が強く、燃焼時に爆発することがある。

【取り扱い上の注意】

火気（スイッチ・赤熱体・静電火花など）より遠ざけ、風通しのよい冷暗所に保管し、衝撃や摩擦を避ける。

【防護方法】

使用量が多い場合には、加温するときは防護マスクを用い、腐食性のものにはゴム手袋を着用すること。

【消火時の注意】

一般には大量の注水がよい。泡消火器も利用可能であるが、燃焼時に火勢が衰えないときは爆発の危険があるので、退避のタイミングを誤らないことが重要である。

表 2.28 主な自己反応性物質（消防法第5類）

分類	化合物の例
有機過酸化物	過酸化ベンゾイル、メチルエチルケトンパーオキシド など
硝酸エステル類	硝酸メチル、硝酸エチル、ニトログリセリン、ニトロセルロース など
ニトロ化合物	ピクリン酸、トリニトロトルエン など
ニトロソ化合物	ジニトロソペンタメチレンテトラミン、ニトロソベンゼン など
アゾ化合物	アゾビスイソブチロニトリル、ジチゾン など
ジアゾ化合物	ジアゾジニトロフェノール、トリメチルシリルアジド など
ヒドラジンの誘導体	硫酸ヒドラジン、ヒドラジン二塩酸塩 など
ヒドロキシルアミン	ヒドロキシルアミン
ヒドロキシルアミン塩類	塩酸ヒドロキシルアミン、硫酸ヒドロキシルアミン など
金属のアジ化合物	アジ化ナトリウム など
硝酸グアニジン	硝酸グアニジン
1-アリルオキシ-2,3-エポキシプロパン（アリルグリシジルエーテル）	1-アリルオキシ-2,3-エポキシプロパン（アリルグリシジルエーテル）
4-メチリデンオキセタン-2-オン（ジケテン）	4-メチリデンオキセタン-2-オン（ジケテン）

2.2.1.6 酸化性液体（消防法第6類）

酸化性液体とは、「単独では不燃性の液体であるが、可燃物・還元性物質・金属粉などと激しく反応する物質」であり（表 2.2.9 参照）、中でも次の危険を起こす液体を指す。

1. 金属粉やアルコールなどの可燃物、またはアミンやヒドラジン類と加熱すると発火、爆発することがある。
2. 水と激しく反応し、発熱や酸素などの発生を伴う。
3. おがくずなどの有機物と接触すると自然発火する。
4. 熱や日光で分解する。
5. フッ化臭素類は多くの物質と反応して、フッ化物を与える。

【取り扱い上の注意】

耐酸性容器に入れ、火気や直射日光を避けて保管し、可燃物や有機物、水と接触しないように注意する。

【防護方法】

高濃度液を扱うときはゴム手袋を用い、ガスが発生する場合にはマスクを用いること。

【消火時の注意】

一般に多量の水を用いるが、液を飛散させないようにする。

表 2.2.9 主な酸化性液体（消防法第6類）

分類	化合物の例
過塩素酸	過塩素酸
過酸化水素	過酸化水素
硝酸	硝酸、発煙硝酸
ハロゲン間化合物	五フッ化臭素、五フッ化よう素など

2.2.2 有害物質

実験に使うほとんどすべての物質は有毒物質と考えてよいが、実際には少量を使用する場合がほとんどであり、非常識な取り扱いをしないかぎり、中毒になるようなことはない。しかし、毒性の強いものを扱う状況においては油断禁物であり、あらかじめ取り扱う物質の毒性を十分に知っておくことが大切である。一方、毒性が弱いものでも長期間にわたり暴露しつづけると重大な障害を受けることがあるので、実験室内や環境に拡散することを防止しなければならない。有毒物質の毒作用は、個々の物質によって異なるが、その侵入経路などを基におおむね表 2.2.10 のように分類される。また、毒物および劇物取締法で指定されている主な有毒物質は、次ページの通り、国立医薬品食品衛生研究所ホームページで確認ができる。化学物質の混合によって危険な有毒ガスを発生する可能性を表 2.2.11 に、および有害化学物質の許容濃度を表 2.2.12 にまとめる。

なお、新規化学物質について変異原性試験や環境中での分解性、新たに環境での有害性をあらかじめ調査することが義務づけられている（化学物質の審査及び製造時等の規制に関する法律）。また、広く用いられている化学物質で、人の健康や自然環境を損なうおそれのあるものの環境への排出量を登録公表する制度（特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律：PRTR 法）がある。

【取り扱い上の注意】（詳細は本マニュアル 2.3 節を参照のこと）

1. 毒物および劇物は密栓した容器に入れ、内容を明記して施錠した薬品棚に保管し、本学で導入している薬品管理システム RCRIS（アールクリス）（本マニュアル 2.3.3 項を参照）によって管理する。万が一、盗難にあったときは、指導者に届け出なければならない。表示は「医薬用外毒物（赤地に白文字）」および「医薬用外劇物（白地に赤文字）」である。
2. 揮発性が高い有毒物質、また粉じんになりやすい有毒物質は、ドラフトなどで取り扱うこと。使用后、うがいと手洗いを励行すること。
3. 皮膚・粘膜から吸収される有毒物質は、中毒症状が出るまでに時間がかかるので、注意が

必要である。

【防護方法】

所定の保護衣、保護眼鏡、防毒マスク（使用する試薬に適した吸着剤の使用）、保護手袋を準備し、着用すること。

また、化学実験に使用する試薬類の化学物質には、人に対して発がん性を有するものがある。IARC（International Agency for Research on Cancer）が公表した発がん物質の分類に基づき、日本産業衛生学会許容濃度委員会が発がん物質を定めている。

【取り扱い上の注意】

1. 暴露後、相当の時間がたつてはじめてがんは発症する。あらかじめ、取り扱い物質の発がん性の有無を十分に調査して使用すること。また、報告などになくとも、物質の構造から推定することも必要である。
2. 発がん性がある場合、代替法によりリスクを回避することを考える。
3. 代替できない場合、こぼしても大丈夫なように汚染拡散防止のシートを敷くなどして、またドラフト内で使用し、保護手袋・保護眼鏡・防毒マスクを着用し、暴露および拡散を防止する。
4. 発がん物質が身体・衣類・器具などに付着して拡散しないようによく洗浄後始末し、また廃棄物管理を厳密に行うこと。

表 2.2.10 有毒物質の侵入経路と物質例

区分	侵入経路	物質例
腐食性物質	皮膚	強酸、強塩基、酸化剤、Ag、Hg、Cu、Zn の塩類、有機アルカリ金属、シラン類、ホウ素化合物、フェノール類、アミン類、第四級アンモニウム塩など
刺激性物質	目、鼻、のど、呼吸器の粘膜	揮発性物質の多くは刺激性、特に、有機ハロゲン化物、低級の酸、アルデヒド、過酸化物など、または揮発性が高いか、粉じんになりやすい腐食性物質や毒物、劇物など
毒物・劇物	経口摂取または皮膚、呼吸器の粘膜	<p>【神経系の症状を示すもの】メタノール、スルホナール、クロロホルム、四アルキル鉛など</p> <p>【血液系の症状を示すもの】シアン化合物、塩素酸塩、ニトロベンゼン、アニリンなど</p> <p>【消化器系の症状を示すもの】強酸、強塩基、過酸化水素、クロム酸、Cu 塩、ホルマリン、フェノールなど</p> <p>【臓器系の症状を示すもの】黄リン、As、Sb、Pb、Ca、Ba、Se などの化合物</p>

毒物・劇物については、国立医薬品食品衛生研究所のホームページにて確認ができる。

<http://www.nihs.go.jp/law/dokugeki/dokugeki.html>

表 2.2.11 化学物質の混合によって危険な有毒ガスを発生する可能性

混合操作	発生ガス	混合操作	発生ガス
亜硝酸塩+酸	亜硝酸ガス	セレン化物+還元剤	セレン化水素
アジド+酸	アジ化水素	テルル化物+還元剤	テルル化水素
シアン化物+酸	シアン化水素	ヒ素化物+還元剤	ヒ化水素
次亜塩素酸塩+酸	塩素ガス	硫化物+酸	硫化水素
硝酸+銅などの金属	亜硝酸ガス	リン+	リン化水素
硝酸塩+硫酸	亜硫酸ガス	水酸化カリウム、還元剤	

表 2.2.12 有害化学物質の許容濃度 a

特定物質名	分子式	管理濃度 ^b / ppm	衛生学会勧告濃度 ^c / ppm
アンモニア	NH ₃		25
フッ化水素	HF	0.5	3
シアン化水素	HCN	3	5
一酸化炭素	CO		50
ホルムアルデヒド	HCHO	0.1	0.1
メタノール	CH ₃ OH	200	200
硫化水素	H ₂ S	1	5
ホスフィン	PH ₃		0.3
塩化水素	HCl		2
二酸化窒素	NO ₂		検討中
アクリルアルデヒド	CH ₂ =CHCHO		0.1
二酸化硫黄	SO ₂		検討中
塩素	Cl ₂	0.5	0.5
二硫化炭素	CS ₂	1	10
ベンゼン	C ₆ H ₆	1	1 ^a , 0.1 ^b
フェノール	C ₆ H ₅ OH		5
ホスゲン	COCl ₂		0.1
三塩化リン	PCl ₃		0.2
臭素	Br ₂		0.1
ニッケルカルボニル	Ni(CO) ₄	0.001	0.001
五塩化リン	PCl ₅		0.1

^a 許容濃度：労働者が1日8時間、1週間40時間程度、肉体的に激しくない労働強度で有害物質に暴露される場合に、当該有害物質の平均暴露濃度がこの値以下であれば、ほとんどすべての労働に健康上の悪い影響は見られないと判断される濃度。

^b 管理濃度：労働省告示「作業環境評価基準（昭和63年労働省告示第79号）」に示される管理濃度。

^c 衛生学会勧告濃度：日本産業衛生学会が出した許容濃度などの勧告値。がんの余剰生涯リスクが、a：10⁻³、b：10⁻⁴。

2.2.3 環境汚染物質

人の健康と自然な環境を損なう環境汚染物質は、その排出が法令により規制されている。法令では、環境基本法によって維持すべき環境基準を示し、これに基づいてその他の諸法令が施行されている。

2.2.3.1 水質の環境汚染物質

環境基本法による環境基準は、人の健康などを維持するための最低限度ではなく、より積極的に維持されることが望ましい目標として「維持されることが望ましい基準」である（表 2.2.13 参照）。大学などの事業所から環境への排出は規制を受けており（排出基準はおおむね環境基準の 10 倍の濃度）、実験室からの排出には十分に気をつけなければならない。例として、排水中の有害物質の許容濃度を表 2.2.14 に示す。また、毒性が強く、よく検出されるハロゲン化炭化水素の排出基準と水道水の水質基準が決められており、その値を表 2.2.15 に示す。

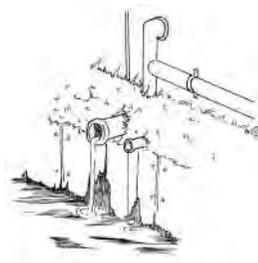


表 2.2.13 人の健康保護に関する環境基準

物質名	基準値	物質名	基準値
カドミウム	0.003 mg/L 以下	全シアン	検出されないこと
鉛	0.01 mg/L 以下	六価クロム	0.05 mg/L 以下
ヒ素	0.01 mg/L 以下	総水銀	0.0005 mg/L 以下
アルキル水銀	検出されないこと	PCB	検出されないこと
ジクロロメタン	0.02 mg/L 以下	四塩化炭素	0.002 mg/L 以下
1,2-ジクロロエタン	0.004 mg/L 以下	1,1-ジクロロエチレン	0.1 mg/L 以下
cis-1,2-ジクロロエチレン	0.04 mg/L 以下	1,1,1-トリクロロエタン	1 mg/L 以下
1,1,2-トリクロロエタン	0.006 mg/L 以下	トリクロロエチレン	0.01 mg/L 以下
テトラクロロエチレン	0.01 mg/L 以下	1,3-ジクロロプロペン	0.002 mg/L 以下
チウラム	0.006 mg/L 以下	シマジン	0.003 mg/L 以下
チオベンカルブ	0.02 mg/L 以下	ベンゼン	0.01 mg/L 以下
セレン	0.01 mg/L 以下	フッ素	0.8 mg/L 以下
ホウ素	1 mg/L 以下	硝酸性窒素、亜硝酸性窒素	10 mg/L 以下
1,4-ジオキサン	0.05 mg/L 以下		

表 2.2.14 排水中の有害物質の許容濃度

有害物質の種類	許容濃度
カドミウムおよびその化合物	Cd として 0.03 mg/L
シアン化合物	シアンとして 1 mg/L
有機リン化合物（パラチオン、メチルパラチオン、メチルジメトンおよび EPN に限る）	1 mg/L
鉛およびその化合物	Pb として 0.1 mg/L
六価クロム化合物	Cr(VI) として 0.5 mg/L
ヒ素およびその化合物	As として 0.1 mg/L
水銀、アルキル水銀、他の水銀化合物	Hg として 0.005 mg/L
アルキル水銀化合物	検出されないこと
ポリ塩化ビフェニル	0.003 mg/L
トリクロロエチレン	0.1 mg/L
テトラクロロエチレン	0.1 mg/L

ジクロロメタン	0.2 mg/L
四塩化炭素	0.02 mg/L
1,2-ジクロロエタン	0.04 mg/L
1,1-ジクロロエチレン	1 mg/L
cis-1,2-ジクロロエチレン	0.4 mg/L
1,1,1-トリクロロエタン	3 mg/L
1,1,2-トリクロロエタン	0.06 mg/L
1,3-ジクロロプロペン	0.02 mg/L
チウラム	0.06 mg/L
シマジン	0.03 mg/L
チオベンカルブ	0.2 mg/L
ベンゼン	0.1 mg/L
セレンおよびその化合物	Se として 0.1 mg/L
ホウ素およびその化合物	海域以外：B として 10 mg/L 海域：B として 230 mg/L
フッ素およびその化合物	海域以外：F として 8 mg/L 海域：F として 15 mg/L
アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物および硝酸化合物	アンモニア性 N に 0.4 を乗じたもの、亜硝酸性 N、硝酸性 N の合計が 100 mg/L
1,4-ジオキサン	0.5 mg/L

表 2.2.15 ハロゲン化炭化水素の排出基準と水質基準

化合物名	公用水域への排出基準	水道水の水質基準
トリハロメタン（下記化合物の合計量） クロロホルム、ブロモジクロロメタン、 ジブロモクロロメタン、ブロモホルム		年間平均 0.10 mg/L
四塩化炭素	0.02 mg/L	0.002 mg/L
ジクロロメタン	0.2 mg/L	0.02 mg/L
トリクロロエチレン	0.1 mg/L	0.01 mg/L
テトラクロロエチレン	0.1 mg/L	0.01 mg/L

2.2.3.2 大気の大気汚染物質

環境基準値は、大気中で1日24時間一生涯にわたり摂取し続ける場合の政策目標基準値であり、その値は表 2.2.16 のように定められている。各物質について、施設や地域ごとに定められた規制値があるので、その値は個別に確認しなければならない。また、その他に、悪臭防止法やオゾン層の保護に関する法律によって定められている汚染物質がある。

表 2.2.16 有害大気汚染物質の環境基準

物質名	1時間値の1日平均値	その他の基準条件
二酸化硫黄	0.04 ppm 以下	1時間値が 0.1 ppm 以下
一酸化炭素	10 ppm 以下	1時間値の8時間平均値が 20 ppm 以下

浮遊粒子状物質 a	0.10 mg/m ³ 以下	1 時間値が 0.20 mg/m ³ 以下
二酸化窒素	0.04 ~ 0.06 ppm 以下	
光化学オキシダント b	0.06 ppm 以下	
ベンゼン		1 年平均値が 0.003 mg/m ³ 以下
トリクロロエチレン		1 年平均値が 0.2 mg/m ³ 以下
テトラクロロエチレン		1 年平均値が 0.2 mg/m ³ 以下
ジクロロメタン		1 年平均値が 0.15 mg/m ³ 以下

^a 浮遊粒子物質とは、大気中に浮遊する粒子状物質であって、その粒径が 10 μm 以下のものをいう。

^b 光化学オキシダントとは、オゾン、ペルオキシアセチルナイトレートなど、光化学反応により生成される酸化性物質（二酸化窒素以外で、中性ヨウ化カリウム溶液からヨウ素を遊離するものに限る）をいう。

2.5 化学物質の廃棄

実験室廃棄物の処理を適切に行うことは、環境を維持することであり、「持続的発展が可能な社会を構築する」ための重要な作業である。実験室で扱う物質のうち有害な物質については、たとえ微量であっても自然水域、土壌、大気などの環境に放出することのないように、適切に処理をしなければならない。

2.5.1 基本的な考え方

本学における化学物質の廃棄に関する基本的な考え方は、以下のとおりである。

- ・有害物質および汚染物質の排出は、法律で定められた排出基準以下でなされなければならない。排出基準などに関しては、本マニュアル 2.2 節を参照すること。
- ・排出基準値以下に実験室廃液などを処理するための手段は、安全に行われなければならない。化学物質の安全な取り扱いに関しては、本マニュアル 2.2 節も参照すること。
- ・実験室廃液は、実験者がその都度、個別に処理することが望ましい。
- ・資源の有効利用を図り、有害物質や汚染物質を極力排出しないように努めなければならない。
- ・実験でこぼした物質に対しても、適切な処理がなされなければならない。

大学は教育研究機関ではあるが、社会の中では一つの事業所であり、大学から発生する廃棄物は基本的に産業廃棄物に該当する。「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃棄物処理法）」では、事業所から排出される燃え殻、汚泥、廃油、廃酸、廃アルカリ、廃プラスチック類、紙くず、木くず、繊維くず、動植物性残渣、ゴムくず、金属くず、ガラスおよび陶磁器くず、鋳さい、建設廃材、動物のふん尿、動物の死体、ばいじん、およびそれらを処分するために処理したものを産業廃棄物と規定している。その中で、環境に排出された際に特に重大な影響を及ぼす有害な物質を「特別管理産業廃棄物」として指定し、適切な分別回収と、適切なルートでの廃棄物処理を規定している。特別管理産業廃棄物の分類は本マニュアル 1.4.4 項の表 1.4.1 を参照し、該当する廃棄物（化学薬品）は分別して回収し、本マニュアル 1.4.4 項に記載した方法にしたがって、適切に廃棄処理を行わなければならない。

2.5.2 有害物質の処理法

実験室から出る廃棄物は、一般的な廃棄物から有害物質まで多岐にわたっている。水質汚濁防止法に示される有害物質については、可能なかぎり、物質ごとに専用容器を用意し、分別回収しなければならない。決して区分を超えて廃液を混合してはならない。また、可能なかぎり、実験者がその都度、個別に処理することが望ましい。有害物質の処理については、産業環境管理協会『新・公害防止の技術と法規（水質編）』や化学同人『実験を安全に行うために』などを参照し、詳細を確認すべきである。有害物質の収集保管区分と処理法を表 2.4.1 に示した。

有害物質を含む廃液を分別して保管する場合の、一般的な注意事項は以下のとおりである。

- 1) 本学においては、有害物質などを含む廃液は適切な容器に分別して回収することとする。
- 2) 廃液の投入は、処理区分のいずれに該当するかをよく考えて決め、処理法が不明な物質を含む廃液は、指導教員または管理者に相談すること。
- 3) 実験室での保管容器は、破損、腐食しにくいものを用い（蓋付きポリ容器など）、保管量

は容器の2/3以下とする。容器には内容物の区分名を明記するとともに、日時や投入者、成分、濃度、量などを記録するための記録票を備える。

- 4) 廃液は保管容器に投入する前に必要な前処理を行う。廃液によって異なるが、濃度とpHの調整、沈殿物の除去（沈殿物は別途回収）の後、処理の障害となる物質を分解または除去する。
- 5) 前処理が終わった廃液は、発熱、発泡、変質などがなければ、少量ずつ注意して所定の回収容器に投入する。
- 6) 次の廃液は相互に混合してはならない。
 - ・ 酸化剤（過酸化物質、塩素酸塩、過マンガン酸塩、クロム酸化合物、過酸化水素など）と有機物
 - ・ 有害な揮発性の塩（シアン化物、硫化物、次亜塩素酸塩など）と酸
 - ・ 揮発性酸（塩酸、フッ酸など）と不揮発性酸（濃硫酸など）
 - ・ 反応性をもつ酸（濃硫酸、スルホン酸、オキシ酸、ポリリン酸など）と他の酸
 - ・ 有害な揮発性アルカリの塩（塩化アンモニウム、揮発性アミンの塩など）とアルカリ
- 7) 悪臭を発する物質（低級チオール、スルフィド、酪酸、アミンなど）、有害ガスを発する物質（シアン化物、ホスフィンなど）、引火性の強い物質（二硫化炭素、エーテルなど）、爆発性物質（過酸化物質、ニトログリセリンなど）の廃液は個別に回収し、できる限り早急に処理すること。
- 8) 放射性物質を含む廃棄物は別途回収し、定められた処理規定に従って処理する。本マニュアル7章の該当部分を参照すること。
- 9) 病原性細菌や遺伝子操作など、生物学的危険性を有する廃棄物は別途回収し、定められた処理規定に従って処理する。本マニュアル3～6章の該当部分を参照すること。

表 2.5.1 有害物質の収集保管区分と処理法
(無機系廃液)

処理区分	成分	貯留上の注意	処理法
水銀系廃液	1. 無機水銀 2. 有機水銀	a. 有機水銀系廃液は酸化分解して無機水銀に変えておく。 b. 金属水銀、アマルガムは除く。	一般の処理施設では完全処理は困難。個別に活性炭吸着法やキレート剤などで処理することが望ましい。
シアン系廃液	1. 遊離シアン 2. シアン化合物 3. シアン錯化合物	a. 酸性廃液は pH 12 以上にする。 b. 難分解シアン錯体（黄血塩、Fe、Co、Ni など）は分解処理してシアン化物に変えるか、難溶性沈殿として除去しておく。 c. 有機シアン化合物は除く。	NaOCl など酸化分解したのち、一般重金属廃液として処理する。
六価クロム系廃液	1. Cr(VI) 化合物 2. 二クロム酸混液	a. H ₂ SO ₄ を加えて pH 3 以下にしておく。 b. 二クロム酸混液は 10 倍以上に希釈しておく。	NaHSO ₃ など還元、Cr(III) としたのち、一般重金属廃液として処理する。
一般重金属系廃液	1. 有害物質として指定されたもの 2. その他の物質として指定されたもの 3. 指定されていない重金属化合物	a. Be およびその化合物は除く。 b. 放射性元素は除く。 c. フッ化ホウ素は除く。 d. 有機金属化合物は無機化しておく。 e. 貯留中沈殿物ができないようにする。	i. アルカリで水酸化物にし、凝集沈殿剤を用い共沈させる（水酸化物共沈法）。 ii. FeSO ₄ などに加えフェライト化して磁気分離する（フェライト法）。六価クロム系廃液も同時に行う。
酸類廃液	鉍酸溶液 (5% 以上)	5% 以下の鉍酸は個別に中和後排出する (HNO ₃ 、HNO ₂ は排水の N 濃度に注意)。	i. 酸液とアルカリ液を混合中和したのち、希釈して排出。
アルカリ類廃液	アルカリ溶液 (5% 以上)	5% 以下のアルカリ液は個別に中和後排出する (アンモニアは排水の N 濃度に注意)。	ii. アルカリ液は処理施設において使用することもある。

* 処理区分は上位のものを優先する。

表 2.5.1 つづき
(有機系廃液)

処理区分		成分	貯留上の注意	処理法	
可燃性廃液	有機炭化水素系溶媒	ヘキサン、ベンゼン、ガソリン、灯油など	a. 引火しないように注意。	焼却基準に適合した炉をもつ業者に処理を依頼する。	
	溶媒含酸素系溶媒	アルコール、エーテル、ケトン、エステルなど	b. 低沸点物は別途収集。		
	廃液含窒素系溶媒	ピリジン、アミド、ニトリルなど	NおよびSとしてそれぞれ5 vol%以下になる		
	含硫黄系溶媒	スルフィド、スルホキシドなど	ようにC、H、O系溶媒で希釈しておく。		
	機械油類		軽油、潤滑油、工作油、焼入油、ワセリンなど		溶媒廃液で粘度を下げしておく。
	動植物油類		大豆油、アマニ油、魚油など		
難燃性廃液	含ハロゲン系溶媒	四塩化炭素、クロロホルム、トリクロロエチレンなど	含ハロゲン化合物として5 vol%以下にしておく。ただし、PCBなどの有害物質は除く。		
	含水廃溶媒	水溶性溶媒、エマルジョンなど			
	有機含金属廃液	キレート剤、有機酸の塩類など	a. 分解処理して、化学的酸素要求量(COD)を下げ、金属を無機化しておく。	廃液は重金属廃液として処理する。定着液は貴金属(Ag)回収のため業者に委託するほうがよい。	
	写真関係廃液	現像液、定着液	b. 少量のときは天日乾燥して固形廃棄物としてもよい。		

2.6 一般的な注意事項

2.6.1 実験を始める前に

実験に用いる薬品、器具、装置などの取り扱い方法と危険性について十分に調べ、実験ノートにまとめる。また、非常時に備えて、消火器・消火栓、緊急シャワー、洗眼器などの位置を確認し、非常時の連絡方法（警報機や電話などの位置と使用方法）を確認する。どのような実験であっても、原則として単独では行わないこと。



消火栓



消火器



緊急シャワー



洗眼器

・さらに、実験室においては、以下のことに十分に注意しなければならない。

【飲食厳禁】

手などに付着した薬品が口に入る危険性があるため、実験室内は飲食厳禁である。

【保護メガネと白衣の着用と適切な服装】

- ・薬品やガラス片などが目に入ることを防ぐため、保護メガネを必ず着用する。
- ・薬品による体や衣類への被害を低減するため、白衣を必ず着用する。
- ・足下を保護し、迅速な移動ができる靴を着用する。サンダルやスリッパは不可。
- ・通常の実験時のみならず非常時のことも考え、動きやすい服装を心がけ、長髪は必ず束ねる。



【整理整頓】

- ・実験室内および実験台の上は常に整理整頓しておく。
- ・かばん、上着などは実験の邪魔にならない場所に置く。
- ・実験室の床や実験台の上が濡れたままでは大変に危険である。水をこぼした場合はすぐに雑巾などで拭き取る。薬品をこぼした場合は指導者の指示に従って適切に処理する。



実験室内は整理整頓！

【実験に集中】

- ・ 自分の実験に集中すると同時に、周囲の実験状況や起こっていることにも注意する。

【非常時の対処】

- ・ 体や衣類への薬品の付着

直ちに大量の水で洗い流し、周囲の人が指導者に連絡する。実験室内の流し台での洗浄が困難な場合には、緊急シャワーや洗眼器を使用する。

- ・ 小さな切り傷、火傷

切り傷は直ちに大量の水で洗い流す。火傷は直ちに大量の水で冷やす。周囲の人は指導者に連絡する。

- ・ 気分が悪くなった場合

薬品の蒸気を吸い込むなどして気分が悪くなった場合は、周囲の人に知らせ、実験室外に出て新鮮な空気を吸う。

2.6.2 器具の取り扱い

2.6.2.1 一般的な注意事項

化学実験では、多くの器具を組み合わせるため、個々の実験器具の機能をよく知って適切な使い方をしないと危険である。さまざまな実験器具の具体的な取り扱い方法が参考文献 [2-2] にまとめられているので、実験を行う前によく読み、その使用方法と機能を十分に理解しておくことが大切である。以下に、いくつかの代表的な化学実験器具についての注意事項を抜粋する。

- ・ すべての実験装置は、それらが転倒することのないように、また、無理な力がかからないように組み立てる。
- ・ 電気コードおよび通水用ゴム管は、加熱浴、特にヒーターから離して、固定して使用すること。(13.2 節参照)
- ・ 加熱浴は反応に適したものをを用いる。
- ・ 加圧または減圧下で実験するときには、傷のある器具は用いない。(12.2 節参照)
- ・ 減圧した器具を局部的に加熱することは避ける。
- ・ 減圧にできるのは耐減圧性の器具のみである (三角フラスコは減圧に対しての耐久性が低い)。

- ・減圧デシケーターを排気するときには特に注意が必要である。減圧デシケーターのガラスの破片が飛散するのを防ぐには、布やビニールなどで覆うと良い。
- ・吸引瓶を取り扱うときには、大きさの適合したゴムアダプターを使用する。

2.6.2.2 ガラス器具についての注意事項

化学実験ではガラス器具を用いて実験することが多いが、ガラス器具は壊れやすく、怪我をすることが多い実験器具である。ガラス器具を取り扱う上で特に注意すべき事項について、以下に代表的な注意点を抜粋する。

【洗い方他】

- ・使用したガラス器具は直ちに洗浄する。
- ・洗う前に、器具の破損や傷の有無を確認する。洗浄時に怪我をすることも多い。
- ・何が原因で汚れているのかを考え、汚れを落とすのに適切な洗い方（汚れの原因となっている物質を溶かすことができる溶剤を用いるなど）をする必要がある。
- ・洗浄して生じた廃液についても、その内容物に応じて適切に廃棄する。(1.4節参照)
- ・割れたガラス器具の再利用は安全上厳禁である。



【割れたガラス器具や破片を廃棄する際の注意点】

- ・割れたガラス器具や破片は、缶などの頑丈な容器にすぐ入れる。
- ・割れたガラス器具・散った破片ガラスを集める際は、軍手（手のひら側がニトリルゴムなどでコーティングしてあるもの）・ゴーグルを着用し怪我を防止する。
- ・最終的に処分する際は、容器の移し替えはせず、缶などの容器に入れたまま処分場に運ぶ。

【すり合せ器具】

- ・すり合せの多くは「共通ずり」であり、すりの部分に記号が書かれている。その記号が同じであれば、共通して使うことができる
- ・すり合せの器具は高価であり、すりに傷がつくと使えなくなるので慎重に扱う。
- ・すり合せ器具が連結しており、すりの部分が乾いた状態のときは、回転させたりしないようにする。
- ・すりの部分にグリースを塗って使用するときは、一度塗ってから拭き取るぐらいに薄く塗る。
- ・使用後は直ぐに洗浄する。放置するとすりが固着することがある。固着したすり合せを無理に外そうとすると、ガラスが破損し、怪我をすることがある。特にアルカリ性の溶液を扱う場合は注意すること。



すり合わせガラス器具

【栓】

- ・化学実験に用いる栓の材質には、天然ゴム、シリコンゴム、フッ素ゴム、コルクなどがある

る。材質によって耐熱性や耐薬品性が異なるので、用途に応じたものを使用する。

天然ゴム：柔軟性に優れていて使いやすいが、アルコール以外の有機溶媒またはその蒸気に触れると、成分が溶け出すことがある。

コルク：有機溶媒に対する耐久性はゴムより高いが、強酸や強アルカリには侵されやすい。気密性がなく、減圧実験には使用できない。

- ・栓はその約半分が口の外に出る大きさが適切である。

ゴム栓にガラス管を通したり抜いたりするときに、しばしばガラス管が破損し、ゴム栓を持っていた手に刺さるなどの怪我をすることがあるので、慎重に作業すること。水やグリセリンなどを潤滑剤として使用すると良い。

【ゴム管】

- ・ゴム管をガラス部分に取り付けるときや、そこから外すときにガラス管が破損し、怪我をすることがある。ガラス管に差し込むときには、水やグリセリンなどを潤滑剤として使用すると良い。
- ・柔軟性が高く使いやすいので、冷却水や気体の導管としてよく使用されるが、有機溶媒には使用できない。
- ・材質によっては耐熱性が低い。
- ・加圧や減圧を伴うときには、耐圧ゴム管を使用しなければならない。
- ・老朽化するとひびが入るので、定期的に取り替えるのが望ましい。