

化学実験を安全に行うために

複雑で、高度な実験を行う時ばかりでなく、基本的な実験を行う場合でも、使用する化学薬品の性質を正しく認識しなかったり、実験器具の使い方や実験操作を間違えたり、実験中の不注意などが原因で反応が急激に進んだり、有害物質が発生したり、思いもならない危険な出来事に出会うことがある。また、実験の際、生じる廃棄物にも爆発や発火の危険性、人体に対する有害危険性も予想される。これらの危険を未然に防ぐには、実験に用いる化学物質の性質や反応性について予め知っておき、反応プロセスをコントロールする必要がある。また、化学物質、廃棄物の取り扱いだけでなく、実験器具や装置も正しく操作しなければならない。ここでは、「実験を安全に行う為の基本」について、化学薬品を中心に解説する。化学実験を行う為には、実験に取りかかる前に、実験計画の立案を含めた実験の準備が必要である。

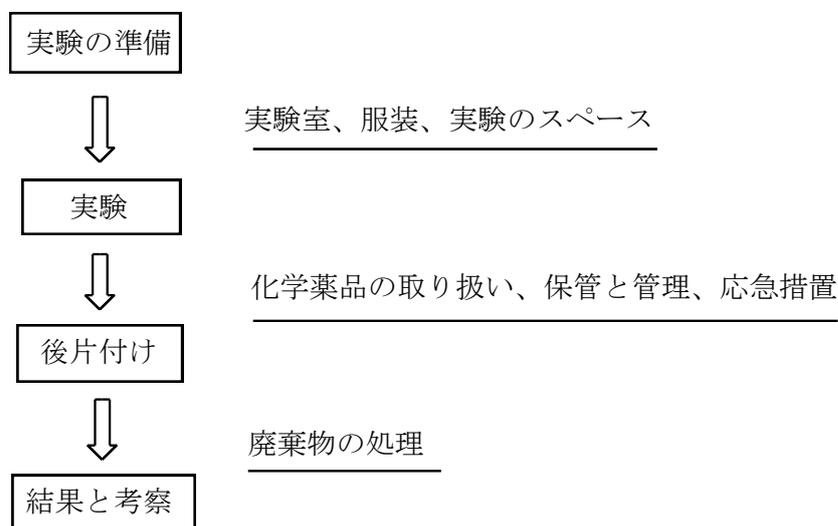


図1. 実験の流れと注意事項

1. 実験の準備

実験を始める前に、実験に使用する電気、水道、ガスなどについてその安全を確認したい。また、実験室の防災設備や応急措置、近くの病院の場所、連絡の為の電話番号についても日頃から注意しておく。

外国の研究室では、実験着と防護眼鏡を着用しない人の実験室への入室は堅く禁止されている。いささか、その徹底ぶりには驚く事があるが、研究室での実験着と防護眼鏡の着用は習慣づけたい。実験着は白衣および作業着いずれでもよい。防護眼鏡は側面の防御が可能なものが好ましい。普通の眼鏡は防護用としては不十分であるので、眼鏡用の防護眼鏡をかけるようにする。防護眼鏡は安全面と価格の面からプラスチック製がよい。実験着や防護眼鏡は市販されている。

2. 化学薬品の取り扱い

実験室で取り扱う薬品は何らかの法律で分類され、規制されている。人間の衣食住において大切な役割を担っている化学物質の安全を確保し、薬品や廃液が原因で起きる事故や災害から本人はもとより、周囲や公共の安全を守る事である。

化学薬品の取り扱いは原則として次の事に気をつける。

- ① ドラフト等局所換気装置のあるところで取り扱う。
- ② 取り扱う時には、実験着（白衣あるいは作業着）と防護眼鏡を着用する。
- ③ 化学薬品の性質に応じた保護手袋を着用する。
- ④ 爆発の危険性がある時には、アクリル板のつい立てを用いたり、ゴーグル型の防護眼鏡を着用する。プラスチック製の薬匙などを使用する。
- ⑤ 薬品を扱った後、必ず手を洗う。

2-1. 医薬品外毒物・劇物

実験室で取り扱う薬品で中毒性、腐食性を持ち、人体や動物の健康に害を及ぼす恐れのある化学物質の取り扱いは、毒物及び劇物取り扱い法により規制されている。それに対し、医薬品や医薬部外品の人体に対する危険防止として薬事法がある。

実験室で取り扱う代表的な医薬用品外毒物・劇物を表1にまとめる。国立医薬品食品衛生研究所物質情報部のホームページ (<http://www.nihs.go.jp/law/dokugeki/dokugeki.html>) は毒物や劇物の検索に便利である。ここには毒物149種類、劇物496種類の化学物質が記載されている。薬品名だけで毒物・劇物の判断がつかない時は、試薬瓶に添付されているラベルの表示内容（医薬品外毒物あるいは劇物と赤字で記されている）から判断できる。

表1. 代表的な医薬品外毒物・劇物

毒物：黄リン、無機シアン化合物、水銀、水銀化合物、ヒ素、ヒ素化合物、フッ化水素、など

劇物：塩素、臭素、ヨウ素、硝酸、塩酸、硫酸、過酸化水素、水酸化カリウム、水酸化ナトリウム、無水クロム酸、アンモニア、二硫化炭素、クロロホルム、ホルムアルデヒド、メタノール、アニリン、キシレン、クレゾール、酢酸エチル、シュウ酸、トルエン、フェノール、有機シアン化合物、など

医薬品外毒物か劇物の違いは、動物実験での急性毒性、ヒトの事故例等の知見、その他の事故の知見等から判定される。

使用済みの薬品ビンはアセトンなどの有機溶媒でよく荒い、薬品が残存していないこと

を確認してから廃棄する。洗浄液は廃液として保存する。

2-2. 消防法危険物

危険物とは、爆発・発火の危険性ととも、有毒性、腐食性、刺激性を持った化合物であり、その保管は消防法で規制を受ける。危険物は、その形状および危険性の由来から6種類に分類される。第一類から第六類の危険物の性質とその概要を表2に整理する。危険物の保安管理に関する書籍は（財）全国危険物安全協会（<http://www.zenkikyo.or.jp/kyozai>）などから出版されている。これらの本を実験室に常備し、消防法や危険物に対する正しい知識を身につける事は安全面から必要である。熊本大学環境安全センターのホームページ（<http://kankyo.parm.kumamoto-u.ac.jp/kankyou> 2/danger.pdf）や日本危険物倉庫協会のホームページ（<http://www.kisokyo.com/kiken.htm>）は危険物の情報検索に便利である。

実験室で扱う薬品の大部分が消防法で規制されている危険物であるが、全てが与えられた条件で危険なわけではない。危険性を表面に表す薬品も有れば、危険性が普段は隠されているものもある。しかし、一見無害と思われる薬品が、高温に加熱したり、日光に長時間さらされたりすると、時として危険な物質に変化したりすることがある。従って、危険物の性質をよく理解した上で、取り扱いには注意して取り組まねばならない。

危険物の保管、取り扱いで特に注意をすることは以下の事である。異なる種類の危険物が接触して思わず危険な状態になる事も多々ある。

- ① 表3に整理した、類の異なる危険物はお互い保管場所を離す。
- ② 第一類の危険物と第四類の危険物の混触は絶対避ける。
- ③ 第二類の危険物と第六類の危険物の混触は絶対避ける

表3. 危険物の分類と性質

| 種別 | 性質 | 性質の概要 |
|-----|-----------------------|--|
| 第一類 | 酸化性固体 | それ自体は燃焼しないが、可燃性と混合すると、熱・衝撃・摩擦で分解し、はげしく燃焼させる固体 火災に寄って着火し易い固体あるいは比較的低温（40℃未満）で引火し易い固体 |
| 第二類 | 可燃性固体 | |
| 第三類 | 自然発火性 および 禁水性物質 | 空気に触れると自然発火するか、または水と接触しても発火もしくは可燃性ガスを発生させるもの 液体であって引火性を有する |
| 第四類 | 引火性液体 | |
| 第五類 | 自己反応性 物質 | 加水分解などで、比較的低い温度で多量の発熱または爆発的に反応が進行するもの |
| 第六類 | 酸化性液体 | |

第一類と第四類の危険物、第二類と第六類の危険物の混触の危険性は、

- 1) 一定期間を経過してから急激に反応が起き、それに伴い発熱、発火が起きたり、
- 2) 混触により元の物質より発火し易い混合物を形成したりする可能性があるためである。

表3に分類される危険物を以下に記す。

a. 酸化性物質

消防法では第一類の酸化性固体と第六類の酸化性液体が含まれる。燃焼や爆発を起こす為には酸素が必要である。爆発性物質は一般には不燃性物質であるが、自分自身の酸素で爆発するものが多い。この酸素を他の物質に与え、酸化させる能力をもつものが酸化性物質である。この物質を可燃性と混合すると、時には爆発性物質を作る。取り扱う際の注意と酸化性物質に属する物質名を例示する。

酸化性物質の貯蔵、取り扱い上の注意は次の通りである。

| |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> ① 加熱、衝撃、摩擦を避ける。 ② 分解を促進させる薬品類との接触は避ける（第一類は第四類と、第六類は第二類との混触はさける）。 ③ 周囲に可燃物を置かない。 |
|---|

表4. 酸化性物質

| 種 別 | 性 質 | 品 目 | 物 品 名 |
|-----|-------|---------------|----------------------------------|
| 第一類 | 酸化性液体 | 塩素酸塩類 | 塩素酸カリウム、塩素酸ナトリウム、塩素酸アンモニウム、など |
| | | 過塩素酸塩類 | 過塩素酸カリウム、過塩素酸ナトリウム、過塩素酸アンモニウム、など |
| | | 無機過酸化物 | 過酸化カリウム、過酸化ナトリウム、など |
| | | 亜塩素酸塩類 | 亜塩素酸カリウム、亜塩素酸ナトリウム、など |
| | | 臭素酸塩類 | 臭素酸カリウム、臭素酸ナトリウム、など |
| | | 硝酸塩類 | 硝酸カリウム、硝酸ナトリウム、硝酸バリウム、硝酸銀、など |
| | | ヨウ素酸塩類 | ヨウ素酸カリウム、ヨウ素酸ナトリウム、など |
| | | 過マンガン酸塩類 | 過マンガン酸カリウム、など |
| | | 重クロム酸塩類 | 重クロム酸カリウム、など |
| | | その他政令で定められるもの | 三酸化クロム、亜硝酸ナトリウム、など |

| | | | |
|-----|-------|---|--|
| 第六類 | 酸化性固体 | 過塩素酸類 過酸化水素 硝酸 その他政令で 定められるもの | 過塩素酸 過酸化水素 硝酸 三フッ化臭素、五フッ化臭素、 五フッ化ヨウ素 |
|-----|-------|---|--|

酸化性物質の関与する火災は、本質的には他の可燃性物質の火災である。消火に当たっては、多量の水で冷却する。

b. 可燃性物質

消防法では第二類の危険物が該当する。比較的低温で着火しやすく、しかも燃焼が速く、有毒なもの、燃焼の時、有毒ガスを発生するものがある。

可燃性物質の保管と取り扱いには以下のことに気をつける。

- | |
|--|
| <p>① 酸化剤との接触あるいは混合は避ける。</p> <p>② 火源との接近、もしくは加熱を避ける。</p> <p>③ 鉄粉、金属粉、およびマグネシウムなどは水や酸との接触は避ける。</p> |
|--|

表5に可燃性固体の品名や物質名を例示する。

表5. 可燃性固体（第二類）

| 品名 | 物品名 | 品名の説明 |
|--------|-------------------------|--|
| 硫化リン | 三硫化リン 五硫化リン 七硫化リン | |
| 赤リン | 赤リン | |
| 硫黄 | 硫黄 | |
| 鉄粉 | 鉄粉 | 目開きが5 μmの網ふるいを通過するものが50%以上の鉄の粉 |
| 金属粉 | アルミニウム粉 亜鉛粉 | アルカリ金属、アルカリ土類金属、鉄およびマグネシウム以外の金属の粉。銅粉、ニッケル粉、および目開きが150 μmの網ふるいを通過するものが50%未満のものは、消防法上の金属粉ではない。 |
| マグネシウム | マグネシウム | 目開きが2mmの網ふるいを通過しないもの、直径が2mm以上の棒状のものは除く。 |
| 引火性固体 | 固形アルコール ゴムのみ | 1気圧において引火点が40℃未満のもの |

赤リン、硫黄及び引火性固体では、水で冷却し、消火する。金属粉の火災は、砂、アスベスト等で火源を覆う。

c. 自然発火性物質および禁水性（水をかけてはいけない）物質

第三類危険物は、空気中において空気または水と接触する事によって、直ちに危険性を生じる。したがって、その危険性は、他の危険物と比較して高い。

第三類の危険物には黄リンのように空気中で発火の危険性（自然発火性）のみを有している物質、あるいはリチウム金属のように水と接触して発火し、または可燃性ガスを発生する危険性（禁水性）のみを有している物質もあるが、ほとんどの物質は自然発火性および禁水性の両方の危険性を有している。

自然発火性及び禁水性物質を安全に保管し、取り扱うための注意点は以下の通りである。

- ① 自然発火性物質は、空気と接触しないようにする。例えば、
 - カリウム金属、ナトリウム金属は灯油をいれた容器で保管し、取り扱いは不活性ガス雰囲気下で行う。
 - アルキルリチウムの保管と取り扱いは不活性ガス雰囲気下で行う。
注射器などを使用して取り扱うと便利である。
 - 黄リンは水中、冷所で保存、取り扱いは不活性ガス雰囲気下で行う。
- ② 自然発火性物質は、火源との接触、または加熱を避ける。
- ③ 禁水性物質は、水との接触を避ける。
- ④ 保存容器、保存袋などに、傷をつけないようにする。

表6. 自然発火および禁水性物質

| 品 名 | 物 質 名 |
|------------------------|---|
| アルカリ金属 | リチウム、ナトリウム、カリウム |
| アルキルアルミニウム | トリエチルアルミニウム、ジエチルアルミニウムクロリド、エチルアルミニウムジクロリド |
| アルキルリチウム | ブチルリチウム |
| 黄リン | 黄リン |
| アルカリ土類金属 | カルシウム、バリウム |
| 有機金属化合物 | ジエチル亜鉛 |
| 金属の水素化物 | 水素化ナトリウム、水素化リチウム、水素化アルミニウムリチウム |
| 金属のリン化物 | リン化カルシウム |
| カルシウムまたは アルミニウムの炭化物 | 炭化カルシウム、炭化アルミニウム |
| その他政令で 定められているもの | トリクロロシラン |

第三類危険物は実験終了後、後片付けをしている場合、よく発火事故が起きる。代表的な第三類に危険物の処理方法を以下に整理する。

- ① リチウム、ナトリウム金属の処理→メタノールに少量ずつ加えて分解する。
- ② カリウム金属の処理→トルエンに分散させた後、最初はt-ブタノール、続いてエタノールを加えて分解する。
- ③ 水素化カルシウム→換気のよい場所で、大量の細かい氷に少しずつばらまき分解する。
- ④ 水素化アルミニウムリチウム→エーテル系溶媒に溶解し、ベンゼンかトルエンを加える。氷冷後、氷水、続いて水、最後に希塩酸を加えて分解する。
- ⑤ トリメチルアルミニウム→換気のよい場所で、乾燥した砂の上に少しずつ注射器等でばらまき分解する。
- ⑥ ブチルリチウム→トルエン等の炭化水素溶媒で希釈し、メタノール、続いて水を加えて分解する。

トリクロロシランは水と反応すると、洗浄しにくいシリコーンに変化する。したがってトリクロロシランの処理は、まずアセトン等の有機溶媒で洗浄し、その後水で洗う。

禁水性物質は、水と接触して発火し、または可燃性ガスを発生するので、水、泡系水系消火薬剤は使用できない。二酸化炭素か粉末消化剤を用いる。予め、消防署等に禁水性物質の保管場所は連絡しておく必要がある。

d. 引火性物質

消防法第四類の危険物は、常温常圧で液体の可燃物である。引火点と発火点などその危険度により表7のように分類される。引火点は、火花や炎などの火源により燃焼を始める最低の温度である。火源の存在なしに燃焼を開始する最低の温度を発火点という。第四類中には、発火点が非常に低い薬品が有るので保管の際、温度の管理が大切になる。

大部分の第四類の危険物は、液体の比重が1より小さく、水より軽い。またアルコール等一部を除いて水に不溶である。蒸気の比重は1より大きい。したがって、その蒸気は低所に滞留し、また、低所に流れる。

第四類の危険物の蒸気と空気との混合物は、その混合の割合が有る範囲内のときだけ燃焼（爆発）する。

引火性物質の取り扱いと保管に関する注意事項を整理する。

- ① 火源との接近をさける。
- ② 加熱を避ける。
- ③ ジエチルエーテルなど麻醉性のある薬品は通気のよい場所で取り扱う。
- ④ 静電気が発生しないように取り扱い、発生した静電気を除去する。

引火性物質の消火は空気の遮断による方法が用いられる。消火に使用する消化剤として二酸化炭素、ハロゲン化物等が適している。

表 7. 引火性物質

| 品名 | 性質 | 物品名 |
|--------|---------------------------------------|---|
| 特殊引火物 | 常圧では発火点が100℃以下、または引火点が-20℃以下で付点が40℃以下 | ジエチルエーテル、アセトン、二硫化炭素、酸化プロピレン |
| 第一石油類 | 常圧で引火点が21℃未満 | 非水溶媒液体 ：ガソリン、ギ酸エチル、シクロヘキサン、酢酸エチル、ベンゼン 水溶性液体 ：アセトン、アセトニトリル、ピリジン、t-ブタノール、ジエチルアミン |
| アルコール類 | 炭素数3以下のアルコール | メタノール、エタノール、プロパノール |
| 第二石油類 | 常圧で引火点が21℃以上70℃未満 | 非水溶媒液体 ：灯油、軽油、キシレン、無水酢酸 水溶性液体 ：アクリル酸、アリルアルコール、酢酸 |
| 第三石油類 | 20℃で液体、引火点が70℃以上、200℃未満 | 非水溶媒液体 ：アニリン、クレオソート、重油、ニトロベンゼン 水溶性液体 ：エチレングリコール、グリセリン、メタクリル酸、酪酸 |
| 第四石油類 | 20℃で液体、引火点が200℃以上 | ギヤー油、シリンダー油、潤滑油 |
| 動物油 | 動植物の脂肉など、または植物の種子などから抽出した液体 | ヤシ油、オリーブ油、菜種油 |

e. 爆発性物質

消防法では第五類危険物に属する。加熱、衝撃、摩擦など外部エネルギーで自己反応を起こし、発火し、爆発するものが多い。また空気中に長時間放置すると分解が進み、やがて自然発火するものがある。

- ① 火気、加熱、衝撃、摩擦を避ける。
- ② 分解し易い薬品は、温度、湿気、通風に気をつける。

表 8. 爆発性物質

| 品 名 | 物 品 名 |
|---------------------|-------------------|
| 有機過酸化物 | 過酸化ベンゾイル |
| 硝酸エステル | ニトロセルロース |
| ニトロ化合物 | ピクリン酸、トリニトロトルエン |
| ニトロソ化合物 | ジニトロソペンタメチレンテトラミン |
| アゾ化合物 | アゾビスイソプロピロニトリル |
| ジアゾ化合物 | ジアゾジニトロフェノール |
| ヒドラジンの誘導体 | 硫酸ヒドラジン |
| その他のもので政令 で定めるもの | アゾ化ナトリウム、硝酸グアニジン |

第5類の危険物の燃焼は、爆発的で、極めて燃焼が早いため、消火は困難である。初期消火が大変重要である。泡消火剤や二酸化炭素消火器で消火をする。

3. 化学薬品の保管と管理

3-1. 化学薬品の購入と管理

薬品の保管・管理を正しく行う為には、薬品を扱うものが化学物質の性質を知らなければならない。さらにこの管理は国の法規制に従って行わなければならない。化学薬品の購入、その管理と使用の注意点を整理する。

- ① 薬品の管理に関して
 - 責任者を定める
薬品の種類によっては、取り扱いの資格が必要となる。
 - 専用のノートを作る。
 - 管理は専用の保管場所で行う。
- ② 購入および使用に関して
 - 販売業の登録を持つ者から必要最小量を購入する。
 専用ノートに
 - 購入した（あるいは使用）した毒物または劇物の名称および数量を記入する。
 - 購入（あるいは使用）した年月日を記入する。
 - 購入（あるいは使用）した氏名を記入する。

医薬用外毒物・劇物、危険物を取り扱う場合、国家資格を持つ責任者の立ち会いのもとで保管場所から出し入れを行う事が好ましい。医薬用外毒物・劇物は実験に使用する必要最小量を購入する。薬品管理上最も重要な事は、不要な薬品を保管しない事である。化学薬品を取り扱う責任者は医薬用外毒物・劇物などの化学薬品が正しく保管・管理されているかどうかは月に1回程度、保管管理状況及び専用ノートを点検し、確認する。医薬用外毒物はグラム単位の厳しい管理が求められる。医薬用外劇物や危険物は試薬ビン単位で管理する。

3-2. 化学薬品の保管

化学薬品の保管で一般的に注意すべき点を整理する。

③ 保管に関して

- 薬品庫は施錠ができ、外部から中が見えないスチール製の丈夫なキャビネットを使用する（鍵は責任者が管理する）。
- 薬品庫は地震や衝撃で保管庫が移動、転倒しないように、壁や床に固定する。
- 薬品庫は一般の人の目に触れないような場所に設置する。
- 医薬用外毒物・劇物は他の薬品と明確に区別された毒物および劇物専用のものとし、「医薬用外毒物」「医薬用外劇物」文字をそれぞれ表示する。
- 薬品がおうてんしないようにしきいなどで工夫する。
- 混触発火を防ぐように薬品の保管は位置を工夫したり、しきいをもうけたりする。
- 危険物の類の異なる薬品どうしは保管場所を離す。
- 危険物の混触は絶対避ける（第一類と第四類、第二類と第六類）

4. 廃液の安全処理

実験を行うと、廃棄物が出る。廃棄物は最終的には排水溝から公共の下水道あるいは河川等に放流される。したがって、廃棄物を無造作で安易な処理をすると下水道の汚染を含めた環境に大きな影響を与える。そのため、薬品を扱う者は、廃棄物の量と毒性をできるだけ抑制し、外部に排出しない努力をするとともに、廃棄物を適切に処理するまでが実験という意識を絶えずもたねばならない。

廃棄物の取り扱いには危険物と同じである。その処理に当たって、各研究室では取り扱い責任者を予め決め、その責任者の指示に従って処理をするようにする。

廃液の貯蔵及び管理について以下に要点を整理する。

- 廃液（2回目までの洗浄水を含む）は収集区分に従って分液収集を徹底し、専用のポリ容器に貯蔵する。
- ポリ容器には、分類名および研究室名を明示する。
- 廃液の貯蔵量は、収集容器の8割程度にする。
- 廃液の中には、固形物および沈殿物を混入させない。

表 9. 実験濃厚廃液の収集区分

| 対 象 | 摘 要 | |
|--------------|--|------------------------|
| 無機系廃液 | | |
| 一般重金属廃液 | 鉛、カドミウム、マンガン、鉄コバルト、スズ等の一般重金属を含む廃液、酸及びアルカリ廃液 | 水彩絵の具、エッチング廃液など |
| 水銀化合物廃液 | 無機水銀化合物廃液、注) アルキ金属水銀、アル水銀などの有機水銀は前処理を行い、無機水銀に変える | マルガム水銀破損温度計などは容器に整理する。 |
| キレート剤含有廃液 | EDTA, アセチルアセトン、オキシム、ポリアミン等のキレートを含む廃液 | |
| 写真廃液 | 現像液、停止液 | 定着液は別途回収 |
| 重金属含有廃液 | 重金属を含有している溶媒類 | クロム液は別途回収、固体金属は金属名を明記 |
| シリカゲル固形物 | 廃シリカ | ビニール袋に入れる |
| 有機系廃液 | | |
| 可燃性廃溶媒 | アルコール類、アセトン、トルエン、キシレン、酢酸エチル | |
| 難燃性廃溶媒 | ハロゲンを含む溶媒、ベンゼン | PCB は除く |
| 廃油類 | 機械油、エンジンオイル、ポンプオイル、動植物油、絶縁油、切削油 | |
| シアン化合物 | | pH10.5 以上にして保管、貯蔵 |
| 有機リン系廃棄物 | | |

比較的薄い酸性溶液、アルカリ性溶液は、十分注意をして、それぞれアルカリ溶液、酸性溶液で中和して、廃棄する。ただし、濃い廃酸、廃アルカリ溶液は保管して業者に回収処分してもらう。

実験に用いた注射器や針は、不燃性ゴミとして処理は出来ない。これらは感染性廃棄物として別に処理バケツを用意し、業者に処理してもらう。

最近ベンゼン、有機塩素系溶媒などの発がん性有害物質の地下浸透が問題になっている。地下水は貴重な水資源として活用されており、一度汚染されると回復は非常に難しい。有害物質を取り扱う場所の床面は耐薬品性の合成樹脂で被覆し、ひび割れないように管理する。薬品の移し替えにはポンプやサイホンを使用し、こぼれないように注意する。エバポレーターには溶媒回収システムを設置し、溶媒の回収に務める。