

8 各学科の実験・実習における安全

8.1 物理学科

8.1.1 一般的心得

物理の実験では多くの分野にわたる装置・器具を扱うことになる。オシロスコープのような電子機器だけでなく、化学薬品、X線、放射線、高圧気体、工作機械など、他学科の実験で扱うものは全て物理実験で扱うといっても過言ではない。したがって、それらを安全に使いこなすためには幅広い知識と経験が必要となる。学生実験などで初心者が扱う場合には初めから安全上の対策がなされており、正しい手順通り扱えば危険はない。それでも、不注意に扱っていると危険な場合がある。何をやるかをよく理解し、操作手順をあらかじめ頭に入れておくことが事故を防ぐことにもなる。また、実験前、実験後の整理、整頓を心がけることも事故を減らすことにつながる。

8.1.2 授業科目の実験実習での注意事項

ここでは、電気、化学薬品、機械工作、高圧ガス容器、液体窒素、レーザー光、放射線、X線の各項目について操作上の注意を述べることにする。なお、物理学実験1・2では電気、化学薬品、高圧ガス容器、レーザー光、放射線の項が関連する。物理学実験3・4では電気、化学薬品、機械工作、液体窒素、レーザー光、X線の項が関連する。

(1) 電気

1) 感電

電気回路などの配線では必ず電源をオフの状態で行う。また修理などで回路内部をいじるときはコンセントを抜いて行う。アースを必ずとる。電極部を直接手で触ると、体内を流れる電流によっては死に至ることもある。通常の50~60 Hzの



商用電源では、1 mA（ミリアンペア）の電流量で感じとることができ、10 mA で耐えがたい苦痛、100 mA で致命的とされている。人体の皮膚抵抗は乾燥時約 5000 オームであるから 100 V の電源でも 20 mA 流れることになる。汗などで皮膚が濡れていると抵抗はもっと小さくなるのでより危険である。また、数 kV 以上の高圧では触らなくても引きつけられるのであまり近づかない。

2) 過熱、発火

最もよくある事故は、コンセントに多くの器具をつなぐ（たこ足配線）ことによって過大な電流が流れ、電線やコンセントが過熱し、ひどいときは発火することである。電線やコンセントは流せる最大電流（7 A とか 12 A とか表示してある）が決まっており、それ以上では異常に熱くなってしまう。また、きちんとコンセントを差し込まなかったり、接触部にほこりが付いていても過熱することがある。特にヒータなどの電気容量の大きい器具を使うときは注意が必要である。壁コンセントなどはほとんどの場合最大 15 A であるから、1 kW のヒータ（100 V では 10 A 流れる）を二つつなぐと 15 A を越え、危険である。15 A 以上ではブレーカーが切れるようになっているのが普通である。

(2) 化学薬品

化学薬品はその利用にあたり、薬品の性質をよく理解し、使用方法・廃棄方法を確認してから実験に臨むことが必要である。物理学実験で取り扱う薬品類は、アルコールなどが主であるが、いずれも法令によって貯蔵や取り扱い・廃棄が規制されていることを知ってもらいたい（消防法・毒物及び劇物取締法・公害対策法・水質汚濁防止法等）。化学薬品はそれぞれ、物理化学的性質・取り扱い方法・毒性・環境に対する影響が異なるので、個々について学習し、経験を重ねる必要がある。以下に使用頻度の高い試薬について性質を記載する。

1) アセトン・エタノール・メタノール・エーテル等の高度引火性物質

- a) 性質：引火性が強く、スイッチや静電気による火花・赤熱体、たばこの火も発火の原因になる。近傍の火気に注意し、直火での加熱などをおこなってはいけない。
- b) 毒性：メタノールは劇物・特定有害物質に指定されており、麻酔性もある。エタノール・エーテルは麻酔性があり、アセトンは頭痛を引き起こすなど、いずれも中枢神経系への傷害を引き起こす。
- c) 防護・消火法：加熱時、もしくは、多量に取り扱う時には、防護マスクを着用し、綿製の手袋を用いる。

2) 酸・アルカリ溶液について

- a) 性質・毒性：強酸（塩酸、硫酸、フッ酸など）・強アルカリ（水酸化ナトリウム・水酸化カリウムなど）はいずれも皮膚に対して強い侵襲性がある。いったん皮膚につ

いてしまったら、できるだけすみやかに流水で十分に洗淨する。そののちに、各薬品に適した処置を行う。扱う際は専用手袋や防毒マスクを用いるようにする。

- b) 廃液：酸・アルカリは個別に専用タンクに収集しておく。支障がない場合には、相互に中和するかまたは、他の廃液処理に利用する。その際には危険のないことをよく確かめて、発熱に注意する。重金属の混じった酸やフッ酸混合廃液は別途回収し、処理する。

化学薬品は環境を汚染し、人体にも有害であるからこれらをそのまま廃棄しては絶対いけない。明治大学では学内で一括収集・処理しているので、それぞれ専用タンクに分類して廃液収集日まで保管しておく。

(3) 機械工作

機械工作は工作工場で行う。主に使用するのは旋盤、ボール盤である。旋盤は、工作物を回転しながらバイト（切削するための刃物）を接触させて加工するものである。ボール盤は、ドリルが回転しながら固定した工作物に穴をあけるものである。どちらも回転する部品に接触したり、服のすそ、髪の毛などが巻き込まれると大きな事故を引き起こす。また、固定すべきバイトまたは工作物をしっかり固定しないと、大変危険である。

工作機械に限ることではないが、不用意にスイッチを入れると事故につながる。あらかじめどこがどう動くのかしっかり理解しておくことが、機械の場合は特に必要である。

- a) 作業時には工場員の指示に従わなければいけない。
- b) 服装は汚れてもよいようなものを準備する。機械に巻き込まれる恐れのあるひらひらした服はいけない。
- c) 長い髪は束ねる必要がある。
- d) サンドルでなく靴をはくこと。
- e) 不用意にスイッチをいれないこと。

(4) 高圧ガス容器（ボンベ）

研究室や実験室でよく見かける高さ 1.5 m、直径 20 cm 程度のボンベには、窒素、アルゴンなどの場合 150 気圧の高圧で気体が充填されている。この圧力に耐えられるようにボンベ自体かなりの重量になる。上記のボンベでも 50 kg を越える。150 気圧で充填されているガスが 1 気圧の大気中に放出されると 7 立方メートルにもなる。以上のことをふまえて、研究室にあるボンベの取り扱い上の注意点を述べる。

- a) ボンベは相当に重いので、運搬時に足に落としたりしないように注意が必要である。
- b) ボンベについているバルブは破損しやすい。破損すれば内部の気体が一時にでて、非常に危険である。保護用のキャップがあるときには、移動時や使用しないときに

キャップをかぶせておいた方がよい。また、ボンベ自体の破損も危険である。強い衝撃などを加えないようにしなければならない。

- c) ボンベの移動には専用のキャリアを使うのが望ましい。使用の際には地震などで倒れたりしないようにしっかりと固定しておく必要がある。専用のスタンドもある。
- d) ボンベには通常圧力調整器（減圧弁）をつけて使用する。圧力調整器をボンベにつけるところのネジはガスの種類によって右ネジのものと左ネジのものがあるので注意が必要である。また、パッキングなどの状態を常に注意しておく必要がある。
- e) 圧力調整器の圧力調整用のバルブは水道などの弁とは逆になっている。押し込む方向に回すとガスがでてくるようになっている。
- f) ボンベ本体のバルブを開くときには、圧力調整器の調整用バルブを閉じた状態にして行う。
- g) 実験終了時や一時的に離れるときにはボンベの元バルブを閉めること。
- h) 高圧装置には必ず安全弁がついており、内部の圧力が異常上昇したときにガスを逃がすようになっている。安全弁には顔を近づけないように注意すること。
- i) ボンベを再充填に出すときには、完全には使いきらずに少し残した状態ですすようにする。これは、ボンベ内が負圧になり、誤って空気を吸い込むことがないようにするためである。
- j) ガスは、毒性（塩素、一酸化炭素などは毒性ガス）、可燃性（水素、アセチレンなど可燃性ガス、酸素、空気、塩素などの支燃性ガス、窒素、アルゴン、ヘリウムなどの不燃性ガス）などによって分類される。使用する際には、ガスの性質をよく理解した上で使うことが大切である。
- k) ボンベには決められた色が塗られている。（酸素---黒色、水素---赤色、液化炭酸ガス ---緑色、液化アンモニア---白色、液化塩素---黄色、アセチレンガス---褐色、その他のガス---ネズミ色） また、ボンベには、ガスの種類と可燃性のガスには「燃」、毒性ガスには「毒」の字が表示されている。

ボンベなどの圧力容器は定期的に検査が義務づけられている。ボンベは業者から借りている場合が多く、通常、業者が充填時に検査を行っている。液化ガスも法律的には高圧ガスに分類されるが、その取り扱いについては、液体窒素の項を参考にしてもらいたい。腐食性ガスの場合、長く放置しておくとも知らずにボンベが腐食し、ガス漏れを起こすことがあるので、注意すること（数年前に、ある大学の研究室にあった古い塩素ガスボンベからガスが流れ出す事故が起きた）。

(5) 液体窒素

液体窒素は沸点 77.4 K の代表的な寒剤である。沸点での蒸発潜熱は 198 J/g と大きく、安価であるので、80 K 程度の低温が必要な場合には最も普通に使われる。しかし、寒剤の特性や取扱い方法を良く理解していないで扱ったために、凍傷や酸欠などの事故も起きている。ここでは、低温液化ガスの一般的性質と液体窒素使用上の注意を述べる。

はじめに、低温の液化ガスの一般的な性質を列挙する。

- a) 低温液化ガスは温度が低い。
- b) 低温液化ガスは蒸発しやすい。
- c) 低温液化ガスは気化すると数百倍に膨張する。
- d) したがって、密閉状態で蒸発すると圧力が急上昇する。
- e) 低温液化ガスの沸点付近の気体の密度は、室温での密度よりも大きい。
- f) したがって、低温液化ガスの沸点付近の気体は床の上にたまりやすい。
- g) 窒素ガスは無臭・無色である。

次に、液体窒素使用上の注意を述べる。

- a) 液体窒素が少々皮膚にかかったぐらいでは特別の問題はないが、大量にかかると凍傷になる。特に、衣服にしみこんだ場合には振り払うことができないので、あたたまるのに時間がかかり、凍傷になりやすい。
- b) 軍手のように液体を吸い込む材質の手袋をしてはいけない。革手袋を使う。
- c) 人や装置に向けて液体窒素をかけるような行為は厳に慎むべきである。
- d) 目に入ると危険である。目を近づけないように注意しなければならない。目の保護のため眼鏡をかけた方がよい。
- e) 密閉した部屋で液体窒素を大量に使用すると、酸欠状態になる危険がある。ときどき換気をしなければならない。
- f) 液体窒素が入った容器は倒さないように注意すること。倒れた容器から一度に液体がもれて蒸発すると、酸欠になる可能性が大きい。
- g) 液化ガス（窒素に限らない）は蒸発して常温の気体になると体積が非常に増える。液体窒素の入った容器からの蒸発気体の逃げ口を閉じてはいけない。爆発する。

(6) レーザー光

1) レーザー光の危険性

レーザー光は指向性が高くエネルギー密度も大きいため、人体が露光した場合、表 1 に示したような障害が生じる恐れがある。

人体に対してどの程度までの照射なら安全とみなされるかの指標として、国際電気標準

会議によって最大許容露光量が設定されている。レーザーの危険度は、この最大許容露光量を基準として、以下のように分類される。

- クラス 1：本質的に安全で、どのような条件でも最大許容露光量を超えない。可視連続発振レーザーで $0.39 \mu\text{W}$ 以下。
- クラス 2：低出力（1 mW 以下）の可視レーザー。目に入っても瞬きによって保護しうるもので、完全に安全とはいえない。
- クラス 3A：直接ビームを続けて見ると危険。可視連続発振レーザーで 5 mW 以下。
- クラス 3B：直接ビームを、または鏡面反射光を見ると極めて危険。可視連続発振レーザーで 0.5 W 以下。
- クラス 4：直接ビームはもとより、拡散反射光を見るだけでも危険。さらに火災を起こす可能性もある。可視連続発振レーザーで 0.5 W 以上。

学生実験で用いる低出力 He-Ne レーザーでも上記クラス 2 以上に属する。また、多くのイオンレーザー、固体レーザー、励起用半導体レーザーがクラス 4 に属する。

2) レーザーの安全対策

レーザーの取扱者は各レーザーの強度、波長、連続発振かパルス発振かなどの動作条件に応じてその危険度を確認し、安全性が確保されるよう十分な注意を払う必要がある。レーザーによる危険を避けるための具体的な安全対策を以下に記す。

- a) レーザーの光路は人間の目の高さを避ける。また、レーザー光の予想される光路を視込まない。
- b) クラス 3 以上のレーザーを使用する場合は、保護用ゴーグルを着用する。
- c) レーザー光の終端には必ず遮断物を設置する。
- d) レーザーの光路中に散乱を起こすような障害物が無いように、注意して光軸調整を行う。不必要な方向への反射が予想される場合には、あらかじめ遮蔽物を置く。
- e) 光学テーブルや光学素子のホルダー類は、光を反射しにくいように黒色に塗装する。
- f) レーザーの調整・操作は、実験に支障の無い限り部屋を明るくして行う。
- g) レーザー装置を使用する場所には「注意」、「警告」標識を目に付くところに貼り、危険性を明示する。

以上は、目や皮膚に対するレーザー照射に関する安全対策であるが、この他に高圧電源を使用するレーザー装置においては、接地や電極部の遮蔽など感電防止対策を十分に施す必要がある（電気の項参照）。

また、水銀ランプなど紫外線を放射する放電管からは目に見えなくても強い光が出ているので、レーザーの場合と同様に上述の対策を施し、目と皮膚への露光を防ぐよう注意する必要がある。

表1 レーザー光が目と皮膚に及ぼす病理学的影響

レーザーの波長域	目の症状	皮膚の症状
紫外 C (200 nm～280 nm)	角膜炎	紅疹、皮膚の老化
紫外 B (280 nm～315 nm)		色素の増加
紫外 A (315 nm～400 nm)	光化学反応による白内障	色素の沈着、皮膚障害（やけど等）
可視 (400 nm～780 nm)	網膜損傷	やけど
赤外 A (780 nm～1400 nm)	白内障、網膜障害	やけど
赤外 B (1.4 μm～3.0 μm)	前房フレア、白内障、角膜傷害	やけど
赤外 C (3.0 μm～1000 μm)	角膜障害	やけど

(7) 放射線（GM管の測定に用いるβ線・γ線源の取り扱い）

実験で用いる⁹⁰Sr（ストロンチウム 90）や⁶⁰Co（コバルト 60）は、それぞれβ線・γ線を放出する放射性同位元素（ラジオアイソトープ）である。β線・γ線などの電離放射線は、吸収された線量に応じて、人体にさまざまな障害を及ぼすことが知られており、ごく少線量の放射線であっても、長期的に見た場合には障害が皆無であるとは言えない。したがって、放射線を使った作業をする場合には、被曝線量を最小限に押さえることが重要である。しっかりした実験計画のもとで、あらかじめ手順に習熟しておくことが重要であり、「最小線量で、短時間に、できるかぎり人体から離して」実験するように心がけるべきである。

放射性同位元素や放射性発生装置は、通常、放射線取り扱い区域でのみ使用するよう法令によって定められている。学生実験で用いるサンプルは、密封されていて、しかも数量が少ないので、実際には法の規制を受けないが、ここでは法令に準じた取り扱いをするよう指導している。

- a) 放射性同位元素は、保管場所・使用場所が決められているので、特に使用後は特定の保管庫に確実に戻されたことを確認する。
- b) 電離放射線は、線源に近づくほど、人体への影響が大きくなるので、なるべく線源を体から離して実験を行うように心がける。
- c) 実験中は、手袋を着用し、室内での飲食・喫煙・化粧をしないこと。また、実験終了後はよく手を洗うこと。
- d) サンプルは、密封されているので、安全性については問題ないと考えられるが万が

一、封かんが破れたり、飲み込んだりする事故が発生した場合には、すみやかに教員もしくは、TA に届け出て、以後の処置をあおぐようにする。

参考

学生実験に使用する放射線源 ^{60}Co は購入時、 $7.4 \times 10^5 \text{ Bq}$ (ベクレル) の放射能を持っている。これを 1メートルの距離で、被爆し続けると、一年間に 2.28 mSv (ミリシーベルト) の線量等量となる。ちなみに、国際放射線防護委員会 (ICRP) の勧告による公衆の線量等量限度のめやすは、 1 mSv/年 とされている。

(8) X線

一時にあるしきい値以上の X 線をあびると、急性の放射線障害 (皮膚の紅斑、白血球の減少、脱毛など) が起こる。しきい値以下でもある確率で発ガン等の晩発性障害や遺伝的影響が出ることが知られている。

物理学科のカリキュラムでは、物理学実験 3 と 4 の X 線回折の実験テーマで X 線を使用する。卒業研究や大学院での研究実験でもテーマによって X 線回折装置を使うことになる。X 線回折実験では、X 線発生源から試料に入射する一次 X 線による被曝が重大な障害を引き起こす。例えば、 40 kV 、 20 mA で運転中の X 線管球の窓から出てくる一次 X 線ビーム中に、窓から 20 cm 離れた位置で誤って指を 1 分間程度置くと、指の脱毛、さらには紅斑を招く。学生実験では、 30 kV 、 15 mA の励起条件の Cu ターゲット封入 X 線管球から発生させた X 線と最大 60 kV 、 80 mA の励起条件の W ターゲット封入 X 線管球から発生させた X 線を一次 X 線としているので、装置の取り扱いにいかに注意が必要か重大に受け止めてほしい。通常の使用条件では X 線が装置の外へ洩れてくることはないが、運転中に防 X 線カバーの扉を開けたり、装置の調整をする際に被爆する恐れがある。試料からの散乱 X 線の強度は一次 X 線に比べると数桁弱いですが、放射線障害は蓄積効果があるから十分注意しなければならない。

X 線回折装置を取り扱う際に、厳重に守るべき注意事項は

- a) X 線発生装置の電源が OFF 時以外、X 線管球の窓を絶対覗き込まない。
- b) シャッターの開閉を確認する。防 X 線カバーを閉じてからシャッターを開ける。
- c) 恒常的に X 線を使用する場合は、放射線従事者の登録を行い、フィルムバッチを付けて実験を行う。

8.1.3 卒業研究・大学院研究における安全の心得

卒業研究・大学院研究においても、注意すべき心得は授業科目の項と同様である。普段から装置や作業をチェックして、危険が予想される場合は研究室の指導教員と相談の上改善す

るよう心得るべきである。繰り返し行う実験では、慣れに伴いつい不注意になるので、常に初心を忘れないようにして欲しい。実験は計画的に行い、深夜におよぶことのないようにする。また、長時間におよぶ実験では注意力が散漫になるので、休憩などに十分配慮するようにする。