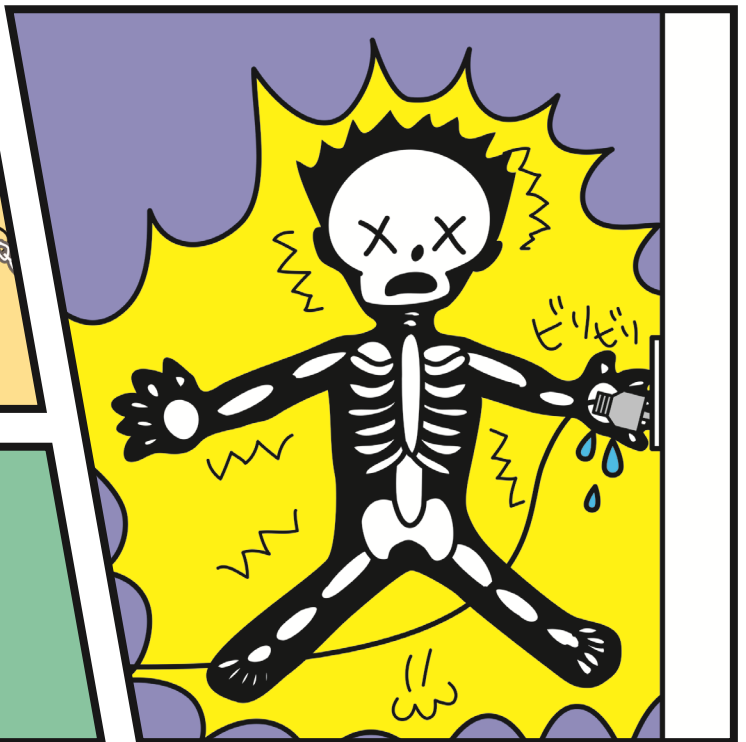
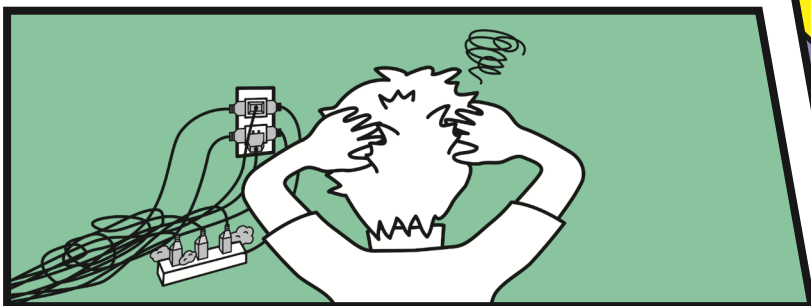
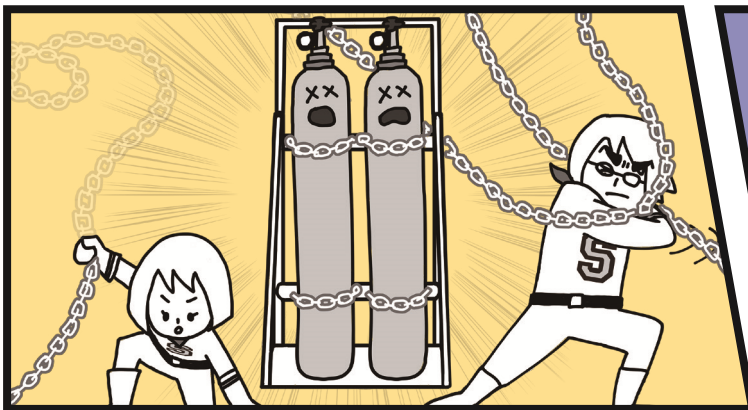
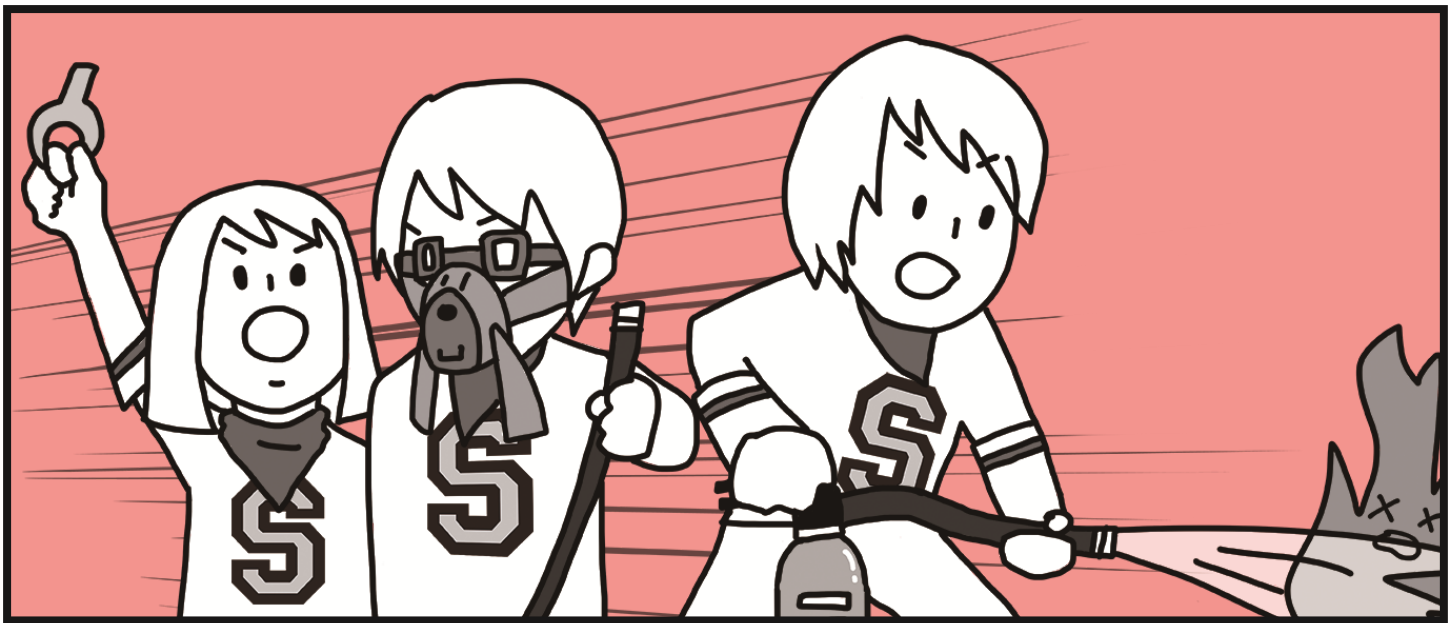
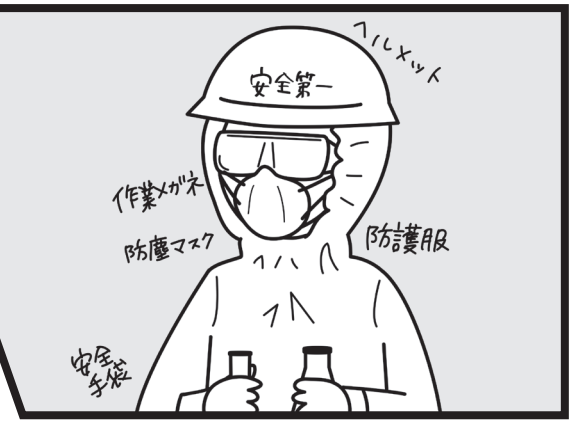
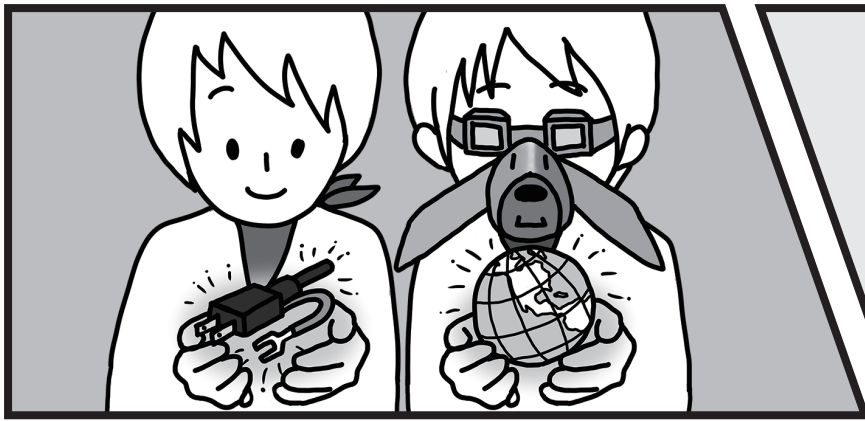
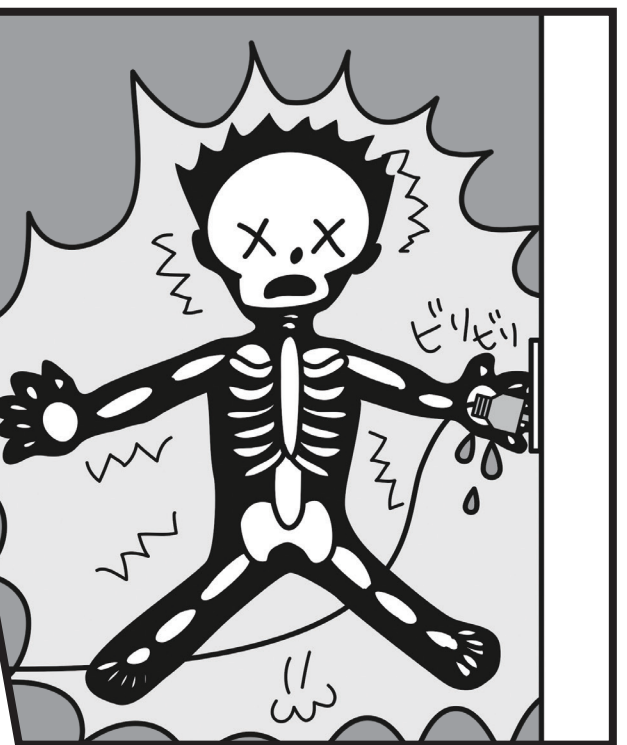
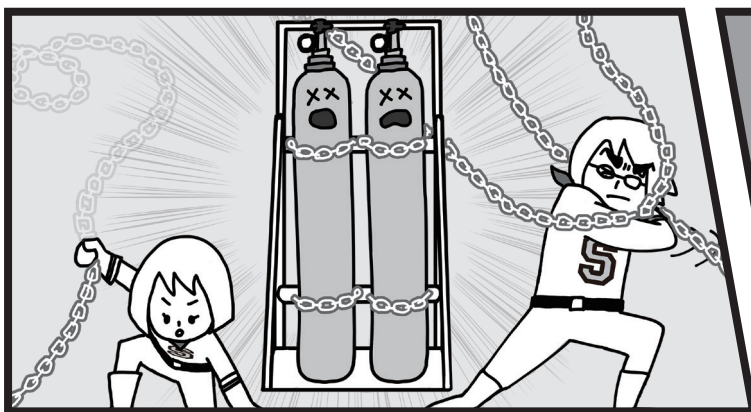
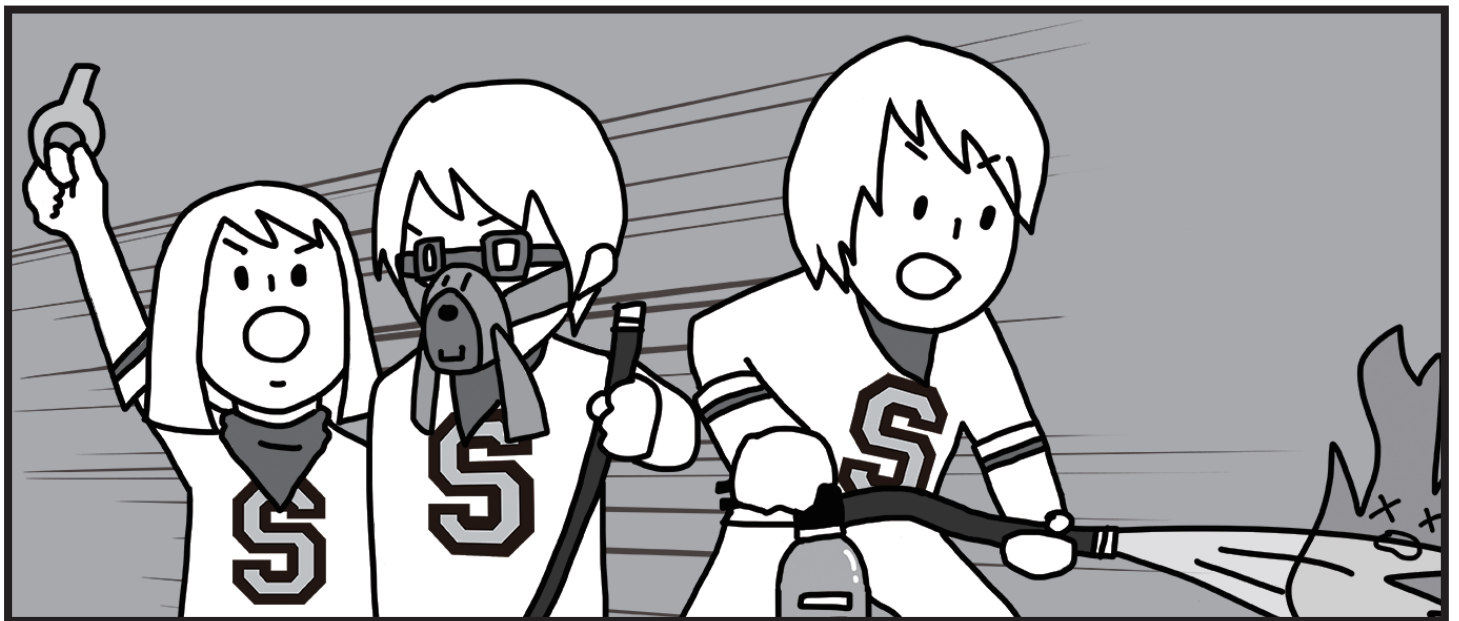


安全のための手引 2020





安全のための手引 2020



はじめに

本書は、学生等の皆様が安全な実験研究を行う際の手引き書として、各専門分野の先生方にご協力いただき、安全衛生管理部で編集・発行したものです。

実験研究では、様々な薬品、機械、器具等を使用します。それらの器具類はこれからの皆様にとって必須のものであり、それらを駆使し、自身のアイデアと組み合わせる作業はとても楽しい(ときに厳しい)ことです。そうすることでワクワクするような研究成果を出すことができます。

しかし、その反面、実験研究にはたくさんの危険が潜んでいることを忘れないでください。実際に皆様の先人たちが多くの事故に遭遇し、尊い命をなくしてしまった事故もありました。

これから使用する薬品、機械、器具等は正しい使い方をすれば問題はなく、皆さんに素晴らしい結果をもたらしてくれるものでしょう。しかし、一歩間違えば、油断すれば、皆さんにその危険が跳ね返ってくることを十分に理解した上で、プロフェッショナルとして、今後の実験研究に励んでいただきたいと思います。

本書では、実験を行う教職員・学生として理解しておくべき安全管理に関する基本的事項を「化学薬品」、「生物実験」等の分野別に実際の事件事例も紹介しながら解説しています。

また、実験研究を遂行するにあたっては、われわれ自身の「安全」のみならず、身の回りの「環境」にも十分配慮し、社会的に責任ある行動が求められます。そこで大学における日々の研究活動から絶えず生じる実験系廃液等の廃棄物の適正な処分ルールについても、種別ごとに具体的に説明しています。

学生等の皆様におかれましては、本書を参考とし、安全と環境を常に意識しながら、事故・災害の発生を防止し、安全で快適な実験研究を遂行されることを期待します。

令和2年4月
大阪大学安全衛生管理部

目次

I. 安全に実験を行うために	1
1. 実験中の事故	2
2. 実験を行う上での一般的な注意事項	3
3. 無人運転における配慮	5
II. 実験器具を安全に取り扱うために	7
1. はじめに	8
2. ガラス器具の取扱い	8
3. 実験室に常備してある機器・器具の安全取扱い	10
3-1. 冷蔵冷凍庫	10
3-2. 乾燥器	10
3-3. 電気炉	12
3-4. 純水製造装置	12
3-5. 流し台	12
3-6. 恒温槽	13
3-7. ドラフトチャンバー	13
3-8. オートクレーブ	13
3-9. 遠心分離機	14
3-10. スライダック	15
3-11. 真空ポンプ	15
3-12. 工具	16
3-13. その他	16
III. 薬品の安全な取り扱いのために	19
1. はじめに	20
2. 薬品の一般的な性質	22
2-1. 人体への有害性	22
2-2. 刺激性・腐食性	23
2-3. 反応性（火災、爆発の危険性）	26
2-3-1. 発火性物質	26
2-3-2. 引火性物質	26
2-3-3. 可燃性物質	27
2-3-4. 禁水性物質	27
2-3-5. 爆発性物質	28
2-4. 環境への有害性	30
3. 薬品の取扱い	30
3-1. 保管について	31
3-1-1. 薬品の漏洩・流出防止、薬品棚の転倒防止	31

3-1-2. 火気・熱源からの隔離	32
3-1-3. 保有量の制限	32
3-1-4. 毒物・劇物の適正管理	34
3-2. 使用について	36
3-2-1. 使用時の大原則	36
3-2-2. 保護具の適正使用	37
3-2-3. 局所排気装置の適正使用	38
3-2-4. 毒物劇物の使用記録	40
3-2-5. 実験室内での掲示、薬品の注意事項の掲示	41
3-3. 廃棄について	41
3-4. 法規制について	42
3-4-1. 労働安全衛生法	43
3-4-2. 毒物及び劇物取締法（毒劇法）	47
3-4-3. 消防法	47
3-4-4. PRTR 制度	48
3-4-5. 麻薬及び向精神薬取締法、覚せい剤取締法	49
4. 緊急時、トラブルの対応について	50
4-1. 応急処置法について	50
4-2. 緊急シャワー・アイシャワー	51
5. 薬品管理支援システム OCCS について	52
IV. 生物実験の安全のために	55
1. はじめに	56
2. 生物学的材料について	56
2-1. 病原体、病原微生物（ウイルス、細菌等）について	56
2-2. 遺伝子組み換え生物について	58
2-3. 実験動物について	60
3. 生物学的材料の一般的な取り扱いについて	61
3-1. 実験施設、設備について	62
3-2. 具体的な操作、注意事項について	65
3-2-1. 実験室内での飲食禁止	65
3-2-2. 実験台	65
3-2-3. 滅菌処理について	67
3-2-4. バイオハザード表示	69
3-2-5. 入退室管理、使用記録	70
3-3. 実験動物の一般的な取り扱い	71
3-3-1. 実験動物の飼育	71
3-3-2. 実験動物の殺処分	72

3-3-3. 放射線同位元素負荷動物の取り扱い	72
3-3-4. 感染動物実験	72
3-3-5. 消毒法	73
3-3-6. その他の一般的注意	73
3-4. 生物実験における廃棄物について	73
3-4-1. 感染性廃棄物の分別	73
3-4-2. 感染性廃棄物の滅菌処理	74
3-5. 血液、体液等による災害防止について	74
4. 必要な届出について	76
5. 参考文献、法令等ならびに学内関連サイト	77
6. おわりに	77
V. 電気を安全に取り扱うために	79
1. はじめに	80
2. 感電による事故の防止と対処	80
2-1. 感電	80
2-2. 感電防止のための注意	81
2-3. 感電事故の対処	82
3. 電気による火災等の防止と対処	83
4. 配電に関する注意	84
電気室・配電設備の注意点	84
分電盤・ブレーカーの注意点	85
壁面コンセント・テーブルタップの注意点	86
5. 停電に対する注意	87
VI. 強磁場実験の安全のために	89
1. はじめに	90
2. 強磁場に対する注意点	90
3. クエンチに関する注意点	91
VII. レーザー実験の安全のために	93
1. はじめに	94
2. レーザーの種類	94
3. レーザーに対する安全基準	95
4. 危険度による分類	95
5. ラベル	95
6. 生体への影響	96
7. レーザー保護メガネ	97
8. 安全の確保	97
9. レーザー装置に付随する危険性	100

10. 日本でのレーザーによる眼障害例	100
Ⅷ. 高圧ガス・液化ガスを安全に取り扱うために	103
1. はじめに	104
2. ガスの性質	104
2-1. 可燃性	105
2-2. 毒性	106
2-3. 酸素の支燃性	106
2-4. 酸素欠乏	107
2-5. 圧力の単位と高圧ガスの圧力範囲	107
2-6. 低温	107
3. 高圧ガスの取り扱い	109
3-1. 高圧ガス容器と刻印	110
3-2. 運搬	111
3-3. 容器の保持	112
3-4. 容器の確認	113
3-5. バルブ操作	114
3-6. 減圧弁（調整器）の操作	116
3-7. 容器検査	117
3-8. その他	118
4. 低温液化ガスの取り扱い	119
4-1. ガスの液化	119
4-2. 常用液化ガスの性質	120
4-3. 液化ガスの貯蔵	123
5. 低温センターと低温実験	126
5-1. 高圧ガス保安法と低温研究	126
5-2. 低温センターへの出入り	126
5-3. 液体窒素室への出入り	126
5-4. 実験室での事故防止	126
5-5. 事故の際の対策	127
6. 寒剤利用の手引	128
6-1. 液体窒素	129
6-2. 液体ヘリウム	130
6-3. 液体水素	133
7. 特殊高圧ガス	134
7-1. はじめに	134
7-2. 主なガスの性質	136
7-3. 自主基準の抜粋	137

8. ドライアイス	138
8-1. ドライアイスの特徴	139
8-2. 二酸化炭素の毒性	139
8-3. 換気方法について	140
9. 酸素欠乏対策	140
9-1. 酸素欠乏危険箇所の表示	141
9-2. 換気の実施	141
9-3. 酸素濃度計の設置	142
9-4. 異常時における対応	142
Ⅷ. 機械工作の安全のために	145
1. はじめに	146
2. 作業服及び保護具	146
3. 整理整頓と災害防止	147
4. 作業場所の選定、障壁の設置、立入禁止	148
5. 機械による危険の防止に対する一般基準（労働安全衛生規則 第2編安全基準から）	148
6. 機器の自作に当たっての注意事項	148
7. 工作機械使用に当たっての一般的注意事項	149
7-1. 作業前の注意	149
7-2. 作業中の注意	149
7-3. 切削油に対する注意	150
8. 各種工作機械における注意事項	151
8-1. 旋盤	151
8-2. ボール盤	152
8-3. グラインダー	153
8-4. コンタマシ	155
8-5. フライス盤	156
Ⅸ. 吊り上げ作業の安全のために	157
1. はじめに	158
2. 玉掛け作業	158
3. チェンブロック操作	159
4. クレーン等操作	160
4-1. 法的規制のあるクレーン等	160
4-2. クレーン等の設置届	160
4-3. 作業者に必要な資格	160
4-4. 作業現場における安全管理	161
4-5. 定期自主検査等・性能検査	161
Ⅹ. 溶接作業の安全のために	163

1. はじめに	164
2. 被覆アーク溶接作業における注意事項	164
2-1. 溶接前の準備	164
2-2. 作業中の注意	166
3. ガス切断作業における注意事項	167
3-1. 作業前の点検・確認	167
3-2. 吹管の取扱い	168
3-3. 点火と消火の手順	169
3-4. 作業上の留意点	169
3-5. 切断作業終了時の注意	170
3-6. その他	170
XII. 放射線実験の安全のために	171
1. はじめに	172
2. 放射線の基礎知識	172
2-1. 放射線の種類と性質	172
2-2. 放射能と放射線の単位	173
3. 放射線防護	173
3-1. 放射線防護の目標	174
3-2. 放射線防護の体系	174
3-3. 放射線被ばくに対する防護	175
3-4. 放射線の生体影響	176
4. 放射性同位元素および放射線発生装置の取扱い	178
4-1. 非密封線源における安全取扱の原則	178
4-2. 密封線源における安全取扱の原則	182
4-3. X線発生装置における安全取扱の原則	184
5. 緊急時の対応	186
XIII. 核燃料物質等を安全に取り扱うために	189
1. はじめに	190
2. 定義	190
2-1. 核燃料物質とは?	190
2-2. 核原料物質とは?	190
2-3. 国際規制物質とは?	191
3. 使用できる施設	191
4. 核燃料物質等の取扱について	192
4-1. 核燃料物質等の使用の記録と保管	192
4-2. 核燃料物質等の廃棄	192
4-3. 核燃料物質等の施設間の移動	193

4-4. 核燃料物質等の有害性	193
5. 核燃料物質等を購入・廃棄したい時	194
6. 緊急事態の対応	194
XIV. 実験廃棄物の安全な処理のために	195
1. はじめに	196
2. 大学は一般家庭とは違う	196
3. 廃棄物に関するルールの概説	197
3-1. 実験系全般	197
3-1-1. 実験系廃液	197
3-1-2. 実験系固形廃棄物	200
3-1-3. 実験系機器類	201
3-2. 生物系廃棄物	201
3-2-1. 感染性廃棄物の分別と滅菌	201
3-2-2. 感染性が疑われる廃棄物についての注意	202
3-2-3. 遺伝子組み換え生物、実験動物等についての注意	203
3-2-4. 一般微生物の廃棄	204
3-3. 放射性物質の廃棄	204
3-3-1. 非密封RIと放射性汚染物の廃棄	204
3-3-2. 密封線源の廃棄	205
3-3-3. 放射線発生装置と放射化物	205
3-3-4. 核燃料物質の廃棄	205
3-3-5. その他	205
4. 実際にあった廃棄物に伴う事故	205
4-1. 水銀漏洩	205
4-2. 古い試薬、内容物不明の試薬による被害	206
4-3. 廃液用一斗缶の破裂	207
4-4. ガラスゴミ用のゴミ箱での被災	207
5. 終わりに	207
XV. 防火・防災のために	209
1. 火災発生時に対応するために	210
1-1. はじめに	210
1-2. 消火器の取り扱いについて	210
1-3. 火災発生時の初期対応	211
1-3-1. 火災第一発見者の初期対応	211
1-3-2. 火災第一発見者の声や自動火災報知設備の非常ベルを聞きつけて 出火場所に駆け付けた者の対応	211
1-3-3. 自動火災報知設備の非常ベルを聞き火災対応にあたる自衛消防隊	212

1-4. 火災発生時安全に避難するために	212
2. 地震対策	213
2-1. はじめに	213
2-2. 身の安全を守るための事前対策	214
2-3. 地震災害を想定した避難訓練	215
2-4. 休日・夜間の地震対策	216
巻末	219

I. 安全に実験を行うために

I. 安全に実験を行うために

1. 実験中の事故

大学においては様々な分野で多種多様な研究が行われており、そこでは多数の化学物質の使用や様々な機器類を使用するなど、多くの危険を伴う作業が行われている。それに伴い、学内においても多数の事故が発生している。

安全衛生管理部では、平成16年度以降、起きた事故に対する対応に加えて、軽微な事故、ヒヤリハット、トラブルを含めた事故情報を収集し、原因や背景要因の検討を加えた上で、その情報を学内に広くフィードバックし、事故の再発防止策に努めている。

平成16年度～27年度までの12年間の事故の分類のグラフを図1に示す。

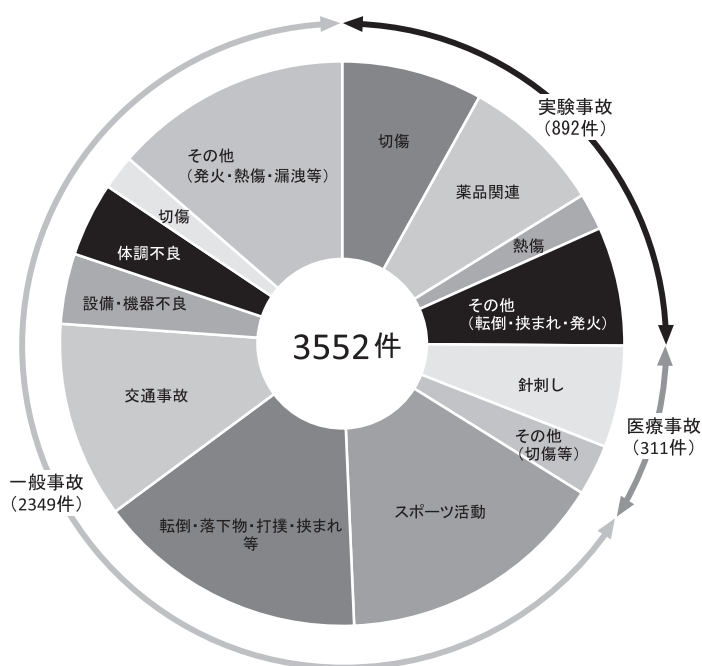


図1 事故の総合分類
(平成16年度～27年度に安全衛生管理部に報告があったもの)

年間300件程度の事故が起こっていることが分かり、およそ一日に1回は何かが起こっている状況である。その分類を見ると、25%が実験作業時の事故、9%が医療活動中の事故であり、その他66%が転倒事故、体調不良、スポーツ事故等の一般事故となっている。それらの大半は軽微なものであるが、特に実験中に起きた事故などは、最悪の場合命を落とす危険性が高い事故である。

同様に実験事故の分類を図2に示す。

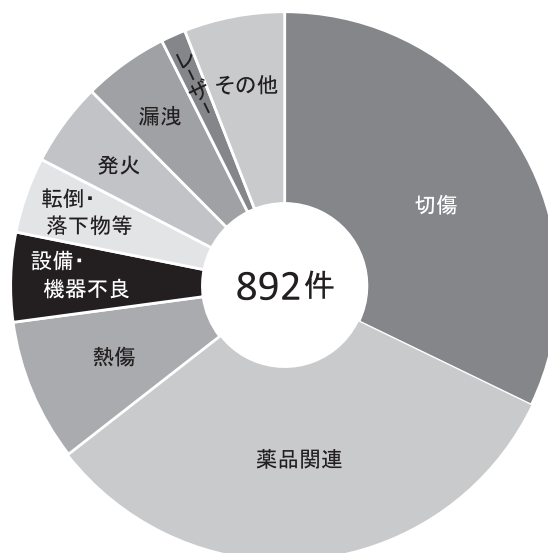


図2 実験事故の総合分類
(平成16年度～27年度に安全衛生管理部に報告があったもの)

ガラス、器具、工具による切傷事故、薬品との接触、引火等の薬品関連事故、その他熱傷、設備・機器の破壊・損傷等の事故が多く起きてしまっている。これらの事故は化学実験、生物実験等の実験分野を問わず、あらゆる分野で起きてしまっている。

自分が行う実験が危険作業であることを認識し、一歩間違えば事故に遭遇し、最悪の場合、命を落とす危険性があることを十分に理解した上で実験を始める必要がある。

2. 実験を行う上での一般的な注意事項

ここでは、全ての実験作業に共通する諸注意事項をまとめた。個々の実験作業等における注意事項は後章にまとめてあるので、そちらも参照すること。

日頃から

- 実験室は整理整頓すること。
- 実験室内での飲食は研究室等のルールに従うこと。(化学系や生物系および有害物を取り扱う実験室における飲食は原則禁止)
- 実験室内における火気(湯沸器、バーナー、ストーブなども含む)の取り扱いに注意し、その近くに引火性、易燃性、可燃性のものを置かないこと。
- 自分の実験で使用する化学薬品、高圧ガス、生物、電気、機械、レーザー等の危険について正しく認識し、使用する前にその特性と正しい取扱方法等を理解しておくこと。
- 実験器具などだけでなく、電気系統、ガス系統、水道系統などのユーティリティ設備についても良好な状態に保つこと。
- 部屋の出入口、非常階段、防火扉の前、消火栓の前、廊下、ベランダに物を置かず、事故等発生時の退避路を常に確保しておくこと。
- 消火器などの安全設備について位置を確認するとともに、使用法を習得しておくこと。

また、いつでも使用できるように維持管理も怠らないこと。

- 緊急時の連絡手順、医療機関の連絡先、自分の保険関係の番号などを把握しておくこと。
- 可能な限り深夜・早朝などの時間帯に実験をしないようにすること。

実験を始める前に

- 時間外(夜間・休日)の実験については所定の手続きを行うこと。所定の手続きを取ったとしても、深夜に単独で危険性を伴う実験などをしないこと。
- 作業に適した服装を着用し、保護具や保護衣を身に着けて、自分自身を守る態勢を整えること。火気を取り扱う実験の場合は、万が一の火が付いたことを考え、燃えにくい素材の衣類の着用すること。
- 危険な実験を行うときは、あらかじめ周囲の人に知らせておくこと。

実験中に

- 実験中に持ち場を離れないこと。
- 必要な保護具(保護眼鏡、保護手袋等)や保護着は常時着用すること。
- 実験台等に必要以上の物品(特に、化学薬品)を置かないこと。
- 有害性のある化学薬品等の取り扱いはドラフト(局所排気装置)内で行うこと。
- 冷却水などの流量、配管からの漏れ、さらには、使用後の止水に注意すること。
- 化学薬品を排水系統(流し台やドラフトの排水口なども含む)へ絶対に捨てないこと。(所定の廃液容器へ捨てる)
- 後片づけを確実にすること。
- 物品の廃棄については大学および各部局で定められた方法に従うこと。
- 実験室を最後に出る人は、室内の点検(各実験器具や装置の状況、終夜運転の有無、電気・ガス・水道などの後始末)を行い、戸締りを確実にすること。

実験中に事故が起きてしまったら

- 事故が発生した場合、あわてず、人を呼んで処置を依頼すること。(当事者が単独で処理しようとしなない)
- 火災の場合、初期消火に努めること。この際、適切な消火器・消火設備を選択すること。なお、自分の身を危険にさらしてまで初期消火を行う必要はない。万が一にも自分の衣服に火がついた場合は、近くの人に消してもらうか、安全シャワーを使うか、または直ちに廊下に出て床に転がり消すこと。
- 眼に薬品等が入った場合には、直ちに流水で十分に洗眼すること。その後、早急に医療機関を受診すること。
- 皮膚に薬品が付着した場合や火傷を負った場合も十分に水洗いすること。安易に適切な医薬品類を付けないこと。
- 各部局などで定められている緊急連絡網に従って、実験室の管理責任者(指導教員)等に連絡すること。なお、救護が必要な負傷者がいる場合は、躊躇せずに救

急車を要請すること。

本書では、危険作業を行う上で、知っておくべき点、注意すべき点をまとめている。これらの内容を知識として習得しておくことに加え、個々の作業において臨機応変に対策を考えられるように自身の知識と意識を向上させることが重要である。

3. 無人運転における配慮

長時間にわたる実験において、電気機器、給排水、高圧ガスなどを無人の状態で使用することがよくある。機器の異常、停電、断水、漏水、ガスの漏れなどに十分注意した準備が必要である。原則として、夜間、無人状態での実験は避けるべきであるが、やむを得ず行う必要がある場合には起こりえる事象を十分に考え、対処しておくことを忘れないでほしい。全ての機器に共通することであるが、運転を開始し、定常状態になるまでは装置から絶対に離れないこと、また、異常熱を持っていないか等、定期的な点検も行って欲しい。以下、個別に注意点を述べる。

- 夜間や無人運転時に多く起こる事故は、漏水(Ⅱ章3-4項、3-5項参照)、乾燥器からの出火(Ⅱ章3-2項参照)、恒温槽からの出火(Ⅱ章3-6項参照)である。
- 夜間、無人運転状態で冷却水などの水を流したままの場合や、分析装置の高圧ガスを流したままの場合、接続部や配管等には漏洩がないように十分点検すること。
- 夜間は水圧が上がるので、ゴム管が止め具から抜けたり、ゴム管の先が躍って流しの外へ逃げたりすることがある。抜け止めの締め具を用いて完全に固定する必要がある。また、ゴム管は劣化するため、ヒビだらけのまま使用していないか等の確認を行うこと。可能であれば加圧用(アセチレン用など)ゴム管で配管することが望ましい。後章の水を使用する機器の部分でも述べているが、漏水事故は学内でも多発している。階下にまで被害が及んでしまっている例も多く発生しているため、水回りには注意をして欲しい。
- 漏水センサーと給水を遮断する電磁弁を利用し、冷却水が漏れたら給水が止まる安全装置を付けることにより洪水を防ぐことができる。
- 無人運転中断水のあることを考えておくこと。水が流れなくなると排水受器部の質量が軽くなり通電をOFFにする装置は手軽に付けられるし市販されている。
- 無人運転中停電し再び通電した際にも事故にならないよう電磁弁と押しボタンスイッチを併用し、装置を翌朝担当者が来るまで停電の状態にしておけるようにしておく。
- 夜間に事故が起きた場合でも対処が速やかに行えるように、事前に対応策を協議しておくこと。連絡体制を明確にしておき、構成員に周知しておくこと。

II. 実験器具を安全に取り扱うために

II. 実験器具を安全に取り扱うために

1. はじめに

ガラスや工具、乾燥機などの器具、機器類は実験分野を問わず、あらゆる実験で使用するものである。こういった普段から幾度となく使用する機器や道具にも思わぬ危険が潜んでいる事があり、多くの事故の危険性が潜在している。事故の原因としては、ふとした油断やごく単純なミスが事故の要因となっており、単純な故にどこでも、誰でもが事故に合う危険性がある。これなら大丈夫だろう、多分平気だろう、などの「だろう」が危険の始まりである。

本章では、一般的な実験室に備えられている実験器具や機器類について取り扱いの注意点等を概説した。個々の特殊な操作や器具、機器の取扱いは後章に述べるが、まず普段から取り扱うものにも多くの危険性があることを知っておいてもらいたい。

2. ガラス器具の取扱い

ガラスは非常に割れやすい。曲げようとすれば割れるし、固い物が当たっても、急激な温度変化でも割れる脆い材質であるということ事を理解しなければならない。しかしながら、ガラス器具はどの研究室にも極めてありふれている器具であり、目にしない、手にしない日は無いと言っても過言ではない。このため、取り扱いが雑になって事故につながるが多々ある。実際、学内で起こる多くの実験事故の中でもガラス器具によるものは最も多い事故の一つである。

ガラスにおける事故は基本的に割れたガラスに触れて起きる。これを防ぐための注意事項を以下に記した。

頻繁に起こり且つ被害が大きくなりやすいのが、ガラス管を扱う際の力加減のミスである。ゴム栓や器具等にガラスを差し込もうとしたり、逆に差し込まれた物から引き抜こうとした時、力加減を間違えガラスを割ってしまい、それが突き刺さる。この事故を防ぐためには以下の点に注意する必要がある。

ゴム栓等にガラス管類を挿入するときの注意

- ゴム栓とガラス管を持つ親指との間は2cm以下にする。
- ガラス管を持つときは、親指と人差し指で摘み、そこに中指を添えるような形で保持する。薬指と小指はガラスには触れてはならない。
- ガラス管の径に対してゴム栓の穴が小さい場合は、無理に入れようとせずに穴を広げるか、潤滑剤を使用する。潤滑剤としては、水やアルコールやグリセリンなどが使用でき、半分程度の力で挿入できる。
- 可能な限りケブラー製の保護手袋を使用する。

ゴム栓等からガラス管類を引き抜く時の注意

- 挿入するときと同様に親指、人差し指、中指の三本指で支え、ゆっくりとガラス管を

回転(ゴム栓ではない!)させる。

- ガラス管がゴムに固着している場合は、ガラスとゴム栓の間に隙間を作り、潤滑剤をたらしてみる。
- 上記のようにしても取り外せない場合は、ゴム栓をナイフ等で切り裂く。
(変質したビニルホースやシリコンゴム等は強力にガラスと固着しているため切り裂く以外に抜き取る事はほとんど不可能である。)

次に、事故としては最も起こりやすいのは、割れたガラスに触ってしまうこと、もしくはヒビの入ったガラスを持ってしまい手の中で砕けることである。流しや机の上に置いてあるガラス器具は置いた人が気付かずに、置いた瞬間に欠けたり、ヒビが入ったりしたまま放置されていることがよくある。このようなガラスに気付かずに触れて手等に怪我を負ってしまう。また、ガラス器具は使用後は洗浄し、繰り返し使用するが、洗浄時に割れたガラスに触れて、怪我を負う事故も極めて多い。これらの事故を防ぐためには以下の点に注意する必要がある。

ガラス器具に触れる際の注意

- ガラス器具に触る時は、パッと触らないで一呼吸置きよく見てから触る。
- 欠けやヒビの入ったガラス器具は使用せずにすぐに廃棄する。

ガラス器具を置く際の注意

- ガラス器具同士を重ねない。
- 物の上にガラス器具を置かない。
- 欠けやヒビに気付いたらすぐに廃棄する。

ガラス器具を洗うときの注意

- ビーカーの口やスリ付き器具のツメが割れているのに気付かず、洗浄中に手を切ることがある。ゴム手袋をはめてブラシを短く持って洗浄する。
- ビーカーや三角フラスコの底には星型のヒビが入りやすい。直径が5mm以下の小さなヒビもある。洗浄した後はガラス器具を光に透かして、ヒビが入っていないかどうか安全確認の習慣をつける。

その他にも被害が大きくなりやすいのは、ガラス器具を扱っている時にガラス器具を落下させてしまう事故である。主に、ガラス器具が濡れている時に起こりやすい。ガラス器具を落下させると大抵の物は割れ砕けて飛び散り、その時に飛び散った破片等で怪我をする。また、溶液が入った瓶や器等を落として割ってしまった後に、こぼれた溶液で足を滑らせてガラスの破片が散らばった床に手をつくといった事例もある。非常に大事になるため注意してほしい。以下に、注意事項を記す。

ガラス器具の落下事故を防ぐために

- 濡れているガラス器具にはできるだけ触れない。どうしても触れなければいけない場合は水分等をよく拭き取る。その時は机等の安定したところに置いたまま拭く。
- ガラス器具を洗浄する際は、流し台の中でなるべく下の方、落としても衝撃が少なくなるような場所で行う。
- 洗浄中にガラス器具同士が触れ合い、破損すること事はよくあることであるため、流しの中にガラス器具を溜めないで、使ったらこまめに洗浄する。
- ガラス器具をしまう棚の整理整頓を心掛け、落下防止措置を確実にする。できるならば、ガラス同士が触れ合わないようパーテーションで分けて入れると良い。
- ビーカー等のガラス器具を掴んで実験を行う時は、手の大きさやその時の握力等を十分考慮して行う。目安として、男性は500ml、女性は300ml以上のビーカーを片手で持って作業を行わない方が良い。
- ガラス器具を持ち運ぶときは、必ず両手で一つのガラス器具を持ち、片方の手にガラス器具の底の部分に乗せ、もう片方の手で側面から掴んで支える。
- 上記の持ち方ができないガラス器具については、落下防止等を十分に考え持ち運ぶ。
- 万が一落として割ってしまった場合は、すぐに何とかしようと行動せずに落ち着いてガラスを踏まないようにする。

3. 実験室に常備してある機器・器具の安全取扱い

研究内容にもよるが、一般的に多くの実験室に備えてある器具や機器類を例示し、それらの取り扱い時の注意点等について記す。

3-1. 冷蔵冷凍庫

試薬やサンプル等を冷蔵・冷凍保管する際に使用する。専用の冷蔵冷凍庫を使用している場合もあるが、多くの研究室では一般的な市販の物を使用しているところが多い。冷蔵冷凍庫自体の危険性としてはほとんど無いと考えられるが、中に保管する物に応じた注意が必要である。

- 毒劇物薬品の保管：毒劇物薬品は施錠保管が義務付けられている(3章3-1-4項参照)。基本的に市販の冷蔵冷凍庫は鍵のかかる構造ではないため、別途、鍵を設置する必要がある。
- 可燃性液体の保管：可燃性液体は電気火花等で着火、引火してしまうため、一般の電気冷蔵冷凍庫に可燃性液体を保管するのは危険である。防爆型の電気冷蔵冷凍庫を使用する必要がある。

3-2. 乾燥器

水分を含んだ試料等の乾燥や、一定温度で試料を保つ際に使用する。旧式の物では温度設定をしてスイッチを入れるだけであったが、最近では昇温や冷却に要する時間をプログラム制御できるものも一般的である。

乾燥器は一般的に使用される装置であるが、使用している際の発火・発煙事故が

極めて多い。以下に実際に起きた事例を参考に注意すべき点を述べる。

- 設定温度を必ず確認すること。プラスチック器具を乾燥するために60℃の温度設定の乾燥器に入れたつもりが、設定を間違えていた、前に使用した人が150℃の設定にしていた、等の理由で150℃設定となっており、数十分後、プラスチックが溶けてしまい(プラスチックは150℃程度で溶融する)、溶けたプラスチックが乾燥器のヒーターに付き、焦げ付き、発煙、発火に至るといった事故が多発している。使用している温度を乾燥器の前扉に張り紙しておくなどの対策も効果的である。
- 生物実験などで多用する装置で乾熱滅菌機があるが、外見が類似しているため、同じように取り扱う場合があるが、乾熱滅菌機の場合、滅菌作業のため200℃程度の高温で使用するため設定温度が高く、乾燥器と間違えて使用すると温度が高すぎて発火に至ってしまう場合がある。実際にこの取り違いによる事故も多く発生している。
- 器具をアセトンで洗浄後、乾燥させるために乾燥器内に放置していた。器具を取り出すと扉を開けたと同時に出火し、まゆげが焦げた。扉を開けたと同時に乾燥器内に酸素が供給され、引火したものを思われる。有機溶剤は引火性が高く、高温状態にすることは避けるべきである。有機溶剤が多量に付着した状態では乾燥器内には入れてはいけない。
- プラスチック器具の乾燥時に乾燥器の温度設定は60℃であったのに煙が出て、出火してしまったという事故も多く起きている。これらは装置の老朽化で温度センサーが故障していた場合や、内部に物を詰め込みすぎてしまい、乾燥器内部に温度むらが出てしまい、部分的に高温部分が発生し、プラスチック等が溶けてしまっている場合があった。内部への詰め込みすぎは大変危険である。

老朽化の見極めは大変難しいが、定期的に、異常な熱を持っていないか、異音がないか、異臭がないか等の点検をしておくことが重要である。また、全ての装置の運転に言えることだが、設定温度に達して、定常に入ったことを確認しないうちは装置から離れないことが重要である。



3-3. 電気炉

電気を用いて炎を使わずに高温で試料を焼成する際等に使用する機器である。機器によっても違いがあるが、到達温度は1000℃以上になる場合も多く、非常に高温となる。乾燥器と同様に、近年はプログラム制御が一般的であるが、旧式の物もまだ多くが現役で使われている。電気炉内の温度が十分に下がってから扉を開けるのが基本であるが、実験上やむなく高温のまま扉を開ける際には、機器周辺のみならず空間全体に細心の注意を払う。耐熱手袋をして扉を開け、中の試料を取り出す際には、トング等の物を必ず用いる。取り出した試料自体も非常に高温になっているため落下しないように磁性の受け皿等にすぐに置く。トング等で挟んだままの移動は厳禁である。また、高温のため水に触れると一瞬で水が蒸発し危険であるため注意が必要である。

3-4. 純水製造装置

実験用の脱イオン水や超純水を製造する際に使用する。要求する水によって機器が異なるが、製造装置は一般的に機器と水道を繋ぐことによって使用していることから、漏水の危険が常に付きまとう。実際に、使用しているホースの劣化や、接続部の破損、はずれ等による漏水事故が多発してしまっている(後述「漏水事故多発警報発令中!」参照)。漏水事故は隣室や階下にまで被害が及んでしまい、想像以上に甚大な被害になる場合が多い。また、樹脂が充填されているポンペを使用するタイプは重量があり転倒すると怪我の恐れがあるため、必ず転倒防止措置を行う必要がある。

3-5. 流し台

実験系の研究室で流し台が無いところは存在しないであろう。流し台の場合も上記3-4と同様に漏水の危険があることを忘れてはならない。よくある事例としては、排水口をバケツやバット等でふさいだ状態で使用してしまい、水が流れず、溢れて漏水に至ってしまう例や、食事の残りかすなどで排水口自体が詰まってしまい漏水に至った例も多くある。そもそも水道の蛇口をきちんと閉栓していれば漏水には至らない場合がほとんどであるため、忘れがちなことではあるが、十分に注意してほしい。

Caution !! 漏水事故多発警報発令中!

3-4、3-5に述べたように漏水事故が多発してしまっている。多くは夜間に漏水が起こり、朝まで気付かれず、気付いた際には隣室、階下にまで被害が及び、部署の数十人が長時間かけて後始末、というような事例が多く起きてしまっている。

漏水の危険があるところは「水が通っているところ全て」である。これまでの事故を参考に以下の点について注意してほしい。

- 排水口をふさぐものをシンクに放置しない(ステンレスバット、雑巾等)
- シンクの排水口にゴミをためていない

また、冷却水の循環や、3-4のような純水製造装置など、水をホースなどでシンクより外に供給するラインがある場合、以下の点も十分に注意する必要がある。

- 水の通っている接続部の確認

- ・ホースは蛇口など接続部の奥まで差し込む
- ・ホースは抜け止めを付けており、壊れていない、古くない
- ・接続で使用しているホースと器具の径が合っている
- ・接続で使用しているパーツは古くない、変色していない
- 水の通っているホース、チューブ等の確認
 - ・ホースはひび割れていない(端も注意!)
 - ・ホースは硬くなっていない、変色していない
 - ・ホースが長い、曲がっているなど、荷重がかかっていない

それに加えて、無人運転や終夜運転をする場合は水の使用は極力避けることが重要だが、やむを得ず使用する場合は、水の勢いを抑えること、定常状態になるまで離れないこと、等も注意しておく必要がある。特に夜間は日中よりも水圧が高くなるため、日中は問題なかったものでも、夜間に水圧が上がり、ホースがはずれてしまう場合もある。

3-6. 恒温槽

ウォーターバス、オイルバスに代表される恒温槽は温度を一定の条件に保つために頻繁に使用される。水を使用する場合の漏水事故、水が枯渇してしまった場合の空だき事故が発生しやすい装置であるので、特に無人で運転をする場合などはそれらの対策を十分に行う必要がある。

オイルバスを使用する場合、高温であることや、使用するオイルによって注意点があるため、その特性に応じた対処を検討しておくこと。

- オイルバスは120℃程度の高温で使用することも多いため、熱傷事故には十分注意すること。
- 燃えやすい溶液は高温用には使わないこと。食用油、パラフィン油は120℃程度を基準にする。劣化がはじまると、加速度的に進むため、適時廃棄する。難燃性の点から推奨できる溶液はシリコン油である。
- 投げ込み型ヒーターを使う時には、発熱部を常に清掃し、油重合物がたまらないようにする。

3-7. ドラフトチャンバー

ドラフトチャンバー (ドラフト)は「局所排気装置」のことであり、ガス等の発生が見込まれる実験を行う際に使用し、排気能力を持っている機器である。薬品を使用する以上、必ず、揮発した薬品蒸気、粉じんが飛散するため、ドラフトを必ず使用することで、これらの飛散物質による曝露を防止する必要がある。ドラフトを使用する際は、排風や電灯を必ずONにして使用し、外側から内側への気流があるかを確認する。ティッシュ等の薄い紙を用いて確認するのが良い。具体的な取り扱い法、注意点等については3章3-2-3項「局所排気装置の適正使用」を参考にする。

3-8. オートクレーブ

和名を高圧蒸気滅菌機と言う。高温高圧の蒸気で滅菌をするための機器であり、

生物系の実験室に常備されている。高温高圧がかかっているため、万が一破損に至るような事があれば大変危険である。取り扱う上では以下の点に注意する必要がある。

- 設置場所を指定し、つい立や金網等で防護処置を施した上で使用する。
- 機器の種類にもよるがゲージ表示圧力の2/3以下、容器耐圧の1/2以下の圧力で使用する。
- 容器の中には試料を詰め込みすぎないこと。十分な空間を残すこと(全体の1/3以下が望ましい)。
- 使用後はオートクレーブ内が高温となっているため、温度が下がってから取り出すこと(通常は温度が下がるまでロックがかかっており開けることができなくなっている)。液体を高圧蒸気滅菌した場合は、オートクレーブ内の温度が下がっていても液体はまだ高温のままの場合がある。この時に液体試料を取りだそうとすると、突沸が起り大火傷を負うことがあるため注意しなければならない。具体的な取り扱い法、注意点等については4章3-2-3項「滅菌処理について」も参考にすること。

オートクレーブは高温高圧で使用する機器であるため、法的にも届出や自主検査が義務付けられている機器である。オートクレーブのような圧力容器は「最高使用圧力(MPa)×「内容積(m³)」によって求められる「基準値(MPa・m³)」によって、分類分けがされており、基準値が0.02以上となるものを「第一種圧力容器」、0.004～0.02となるものを「小型圧力容器」、0.001～0.004となるものを「(簡易)容器」、0.001以下は適用外という区分を設けている。このうち第一種圧力容器は設置の許可(届出)が必要となる。

ほとんどのオートクレーブは「小型圧力容器」か「(簡易)容器」に区分される。設置の許可は必要ないが、法的に「自主検査」をすることが義務付けられている。検査の項目は以下のようなものである。

- 部品の傷、凹み、亀裂や腐食がないかを確認
缶体内壁、缶体口、フタ、パッキン、アーム、アームガイド、アームシャフト等
- ボルト、ナット、ねじの緩みがないかを確認
- 電源スイッチの漏電テストボタンを押し、電源が遮断されるかを確認
- 安全弁の噴出し確認
- 運転途中でフタパッキン部から蒸気漏れがないかを確認

3-9. 遠心分離機

強大な遠心力をかけることで、試料の構成成分を分離するための機器である。懸濁液や乳液からの分離などに用いることが多く、結晶成分の分離や、細胞の分離作業などに用いられるため、様々な研究分野で使用されている。

低速領域遠心機とされるものでも4,000～12,000rpmで回転し、超高速領域遠心機になると55,000～150,000rpmもの高速で回転するため、取り扱いを間違えると大事故につながる恐れがある。以下の点に注意すること。

- 遠心機のバケットにロータが確実にセットされていることを確認する(2～3度軽く浮かせ

て点検)

- 高速回転するため回転するロータのバランスが取れていないと軸に高い負荷がかかってしまい、軸が折れることで大事故につながってしまう。必ずバランスを取ることを。
- ロータのカバーはしっかりと閉めること。本体のフタは電子ロックがあり、フタが確実に閉まっていないと回転できない仕様になっているものが多いが、ロータは手締めするため、電子ロックがなく、忘れたまま回転を始めるとそのまま回転してしまう機器が多い。ロータにカバーがないと内容物が飛び出してしまう危険が高く、大変危険である。

また、遠心機は操作上、危険が伴う機器であるため、法的にも定期的な自主検査が義務付けられている(「動力遠心機械」という名称で法律(労働安全衛生法)上でも点検が義務付けられている)。検査する部分は以下のような部分である。

- 主軸の軸受部の点検：錆の発生、グリス漏れ・切れ、傷の付着、ねじ山の磨耗等
- 回転させた時のベアリング等の異音チェック
- モータコイルの劣化によるモータ異常振動のチェック
- パッキン、カバー類に傷や亀裂、劣化や硬化がないか確認
- ロータ部、保護管、の傷、変形、腐食
- バランス修正鉛の飛び出し
- 蓋インターロックの確認
- その他、ネジの緩みや外れ、消耗、劣化、本機外装のへこみや傷の有無

3-10. スライダック

和名を電源変圧器と呼び、出力電圧を変化させることのできる機器である。機械系を始めとして、電圧を変化させる機器や、実験等で頻繁に使用する。スライダックはメモリが0の状態でも実際には数ボルトの電圧がかかっており、それを忘れてスライダックの入力プラグを電源に入れたまま配線をし、ショートをさせるという事故がよく起こる。必ず、配線を十分に確かめた上で運転直前までスライダックの電源をコンセント等に差し込んではいならない。

また、スライダックは老朽化による発火、発煙の事故も多く起こっている。古くなったことで埃がたまったり、配線がもろくなったりすることで発火、発煙に至ってしまう事故が多く起こっている。定期的に、外部からの目視、異音の確認、熱を持っていないか等の確認は行う必要がある。

3-11. 真空ポンプ

真空ポンプは分析機器類の減圧や真空化を目的として使用される機器である。非常に多くの機器に使用されるため多くの研究分野で使用する。長時間、減圧状態を維持するため、長時間使用する場合や、無人状態で運転したままにしておく場合などがよくあり、埃や老朽化などが原因で発火や発煙に至ることがある。特に、古くなった真空ポンプでは回転ベルトが劣化していたり、緩んだりしていることがあり、ポンプの破損や焼き付きの原因となるため気を配る必要がある。また、真空ポンプで、ある機器やガラス器

具内を真空にした時に、相手側を真空に保ったまま真空ポンプの電源を切ってしまったことにより真空ポンプ内の機械オイルが逆流してしまうという事故も起こることがある。これは、停電時にも同じことが起きるので、停電の恐れがある時は使用しない方がよい。その他、回転ベルトが外から触れることができるようになっている構造のポンプでは、実験衣などが巻き込まれ、死亡事故につながる恐れもあるため注意が必要である。

3-12. 工具

一般家庭でも用いられるようなドライバーやペンチ、ドリル、ハンマーなどの手工具は装置の作成や調整など様々な用途で使用する。これらの工具も取り扱いを間違えば大きな事故を引き起こすものであるため、以下のような点に注意する必要がある。

- 使用前に磨耗、変形、切味等の欠陥がないかよく点検すること。
- 手工具の油はよくふきとって、滑らないようにすること。
- その工具の本来の用途で用い、正しい方法で使用する。
- ドライバー、スパナ、パイプレンチなどは、ねじ、ナット、パイプの大きさに応じて適当な力が出せるような形状、寸法となっている。補助具を使うなどして過大な力を与えると、ねじがねじ切れるので注意が必要。
- レバーなども同様に、普通の力でしめれば十分な力ができるように設計されている。過大な力を入れると、レバーや機器がこわれたり、手が滑ったりして、のめって怪我をする恐れがある。

3-13. その他

上記で紹介した器具、機器類以外にも実験には様々な器具、機器類を使用する。後章でも多くの器具、機器類を紹介しているので、取り扱う前に熟読してほしい。その他、器具、機器類に分類されないものでも、例えば、実験台、実験机は日常的にどの分野でも使用するものであるが、整理整頓されていない場合には様々な危険を内包することとなる。例えば、有機溶剤をこぼした時に火気があった場合、そしてその近くに紙が散乱していた場合では、延焼拡大をしまい被害は甚大な物となる。また、机上のガラス器具等が落ちて、割れることで被害を拡大させる。机が床に固定されていない場合、それ自体が重量物のため地震等で挟まれたり、通路を塞いだりと非常に危険な事態に発展することがある。こういった事故を防ぐためにも、整理整頓、転倒防止などの措置は極めて重要である。ありふれているがゆえに見逃しがちであるため、注意が必要である。

見落としがちな点として、服装にも気を配りたい。実験衣はただ漫然と決められているわけではなく、その役割に応じた用途によって決められている。薬品を扱う際に誤って薬品をこぼしてしまった場合でも、すぐに脱げるように、薬品がかかった布を簡単に身体から遠ざけることができるように作られている。これが機械系で使用することが多いツナギ(上着とズボンが縫い合わされて完全に繋がった形状の衣服)では脱ぎにくいめうまくいかない。逆に、機械系の実験室で白衣を着たら非常に危険である。白衣は体に密着する構造ではないので機械類に巻き込まれる危険性が非常に高い。そういった危険性がある現場では、ツナギのような身体に密着するような衣服が望ましい。また、履物も

同様である。暑いからと言って、皮膚が露出するようなサンダルなどの履物で薬品を扱ったり、踵の高い履物で実験を行うことは危険作業をするのにふさわしい姿勢とは言えず、改める必要がある。

普段から作業する実験台、自身の服装などは実験をやる上での姿勢、心構え、安全に対する意識が表に表れるものである。身近で簡単なことから油断せず対応することこそ、科学者として「カッコいい」。

Ⅲ. 薬品の安全な取り扱いのために

Ⅲ. 薬品の安全な取り扱いのために

1. はじめに

大阪大学では28の部局、約1,000の研究室、学生を含め約20,000人が薬品を使用し、研究教育に励んでいる。

表1は大阪大学で使用されている薬品の保管量の上位10を示したものである(薬品管理支援システム:OCCS調べ)。この上位10に入っている薬品のうち、8つは引火、爆発性を持つ薬品であり、4つは人体有害性の高い「劇物」に分類される薬品である。また、ほぼ全ての薬品が皮膚刺激性を持ち、眼に入れば失明の恐れが高い薬品である。発がん性などの長期的な毒性を持つ薬品も多く、これら全ての薬品は甚大な被害を引き起こし得る物質である。

表1 大阪大学で保管されている薬品量

	薬品名	総量 [kg]	代表的な危険有害性
1	エタノール	8,590	引火性、麻酔性、肝臓、中枢神経系の障害
2	アセトン	6,860	引火性、麻酔性
3	メタノール	6,480	引火性、劇物、中枢神経系、視覚器の障害
4	ジクロロメタン	3,710	発がん性、中枢神経系、呼吸器の障害
5	クロロホルム	3,680	劇物、発がん性、肝臓、腎臓の障害
6	ヘキサン	3,670	引火性、神経系の障害
7	アセトニトリル	2,510	引火性、劇物、中枢神経系、呼吸器の障害
8	酢酸	2,500	引火性、血液、呼吸器系の障害
9	酢酸エチル	2,450	引火性、劇物、麻酔性
10	イソプロパノール	2,420	引火性、中枢神経系、腎臓の障害

反応性や爆発性、そして水とは異なる特性があるからこそ、薬品を有用なアイテムとして多用し、最先端の研究に利用するわけだが、取り扱いの方法を間違えば、我々に牙を向き、最悪の場合、命を落とす危険性を伴っている。

図1は大阪大学で薬品が原因で起こった事故を分類したものである。

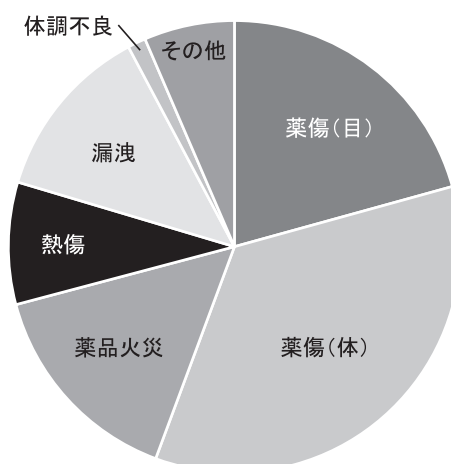


図1 薬品由来事故の分類
(総件数: 309件(平成16年度～27年度))

試薬のラベルイメージ

取扱注意事項
 1. 取扱作業場所には、局所排気装置を設けてください。
 2. 容器から出し入れするときは、こぼれないようにして下さい。
 3. 取扱い中は出来るだけ皮膚にふれないようにし、必要に応じ防毒マスク又は送気マスク、保護手袋等を着用して下さい。

危険有害情報
 危険有害情報
 ・引火性の高い液体及び蒸気
 ・強い眼刺激
 ・飲み込むと有害のおそれ
 ・生殖能又は胎児への悪影響のおそれ
 ・臓器への障害
 ・呼吸器への刺激のおそれ
 ・眩気及びめまいのおそれ
 ・長期又は反復暴露による臓器の障害

試薬特級
 137-01823
Methanol
 (Methyl Alcohol)
 メタノール
 (メチルアルコール)
 $\text{CH}_3\text{OH} = 32.04$
 Assay (GC) min. 99.8 %
 Solubility in water no limit
 Refractive index n_D^{20} 1.327~1.330

GHSマーク
 ・可燃性
 ・急性毒性(低)、皮膚刺激性
 ・呼吸器感作性

3L
 * 透光保存 *
 ● 試験研究用以外には使用しないでください。
 UN1230
 危険
 医薬用外劇物
 メタノール含量:99.8 %
 危険物第四類
 アルコール類
 危険等級II 氷溶性
 火気厳禁

Lot. 123548

SDSや薬品ビンのラベル以外にも試薬メーカーのカatalogや、試薬メーカーや、多数の研究所等のインターネットによる情報サイト、化学辞典など様々な情報ツールがある。必要に応じて、検索等を行い、知識を増やして欲しい。

災害は予期せぬ形で起こるものであって、安全のためには事前の十分な災害防止策を講じるとともに、安全に関して日常の不断の努力が要求される。

本書はあくまでも手引であるが、多発しやすい一般的な事項に対する知識と注意事項をできるだけ多く集録した。その記述は簡単にして読みやすくしたので、終りまで必ず読んでいただきたい。特に危険の予想される実験を行うに当たっては、再読のうえ注意すべき要点を把握しておくことが大切である。危険な物質の数は多数にのぼる。したがって、更に詳細については、後述の参考書などで災害予防の徹底を期する必要がある。

又、研究の内容によっては、このほかに更に専門的知識を補足し、それぞれ適切な防災対策を立てたうえで実験を行うことが必要であり、指導者の注意をよく守らねばならない。一人の不注意(無知)が、周りの多くの人に迷惑をかけることになる。

大学では多種類の物質を扱うため、本書でこれら個々の物質について説明を記すことは不可能である。そのため専門書等でそれぞれの物質の物理的・化学的性質を事前によく知り、安全策を十分講じたうえで取り扱わねばならない。

2. 薬品の一般的な性質

薬品を扱う上での大原則として、「薬品には、なんらかの危険有害性が存在する」ということを知っておく必要がある。具体的には「人体有害性がある(毒でない薬品はない)」、「刺激性・腐食性がある」、「反応性がある(燃える、反応する)」、「環境に毒である(水質、大気)」という特性が上げられる。以下にそれぞれについて概説する。

2-1. 人体への有害性

薬品の中には、口から飲み込んだ場合、呼気として蒸気を吸い込んだ場合、そして、皮膚に付着して皮膚から吸収された場合、不調(めまい、吐き気等)の軽微なものから、

神経、内臓系に異常をきたし、最悪死に至るような中毒を引き起こすなど、人体有害性を有しているものが非常に多い。

特に鼻や肺などの呼吸器を経由した体内への取り込みは、口からの誤飲や、皮膚吸収と比較して10～100倍と多い。しかも、肺からの取り込みは体内に摂取された後、肝臓を通らず、解毒されずにそのまま体内に取り込まれるため、吸収されやすい。

吸収された化学物質は脂質の多い神経、脳などに結合蓄積しやすく、蓄積された化学物質が人体に悪影響を与えてしまう。

また、人体有害性の作用も、毒性の直ちに現われる急性的なもの、少量ではあまり害はないが繰り返し触れると徐々に吸収され蓄積される慢性的なものがあり、その蓄積毒性(慢性毒性：発がん性、遺伝性疾患等)は効果がすぐに出ないため、見落としやすい危険性である。がんに代表されるように、慢性中毒は一旦進むと直りにくく、治療に長期間を要することになる。

これらの人体への有害性を持つ薬品を安全に取り扱うためには、前述の化学物質安全データシートなどを活用し、あらかじめ人体への有害性、長期曝露による有害性、そして、揮発性の高さ(気体になり、呼吸器から吸収されやすい)、事故の起こった場合の処置法なども把握した上で使用することが重要である。

以下に、学内で使用される薬品の人体毒性について一例を示す。

- 水銀の蒸気圧はかなり高く、その蒸気は極めて低い濃度で、激しい中毒を引き起こす。また、四エチル鉛、ジエチル水銀、塩化エチル水銀など有機金属化合物やニッケルカルボニルは、気体または液体として体内に浸透しやすくその毒性は強いので注意を要する。
- 有機化合物の中には、その蒸気が肺から血液中に吸収されて、毒性を示すものが多い。二硫化炭素、ベンゼン、アニリン、ニトロベンゼン、フェノール、アクロレインなどの蒸気は特に著しい。
- 塩化ベンジルなどのハロゲン化ベンジルや、クロロアセトンなどのハロゲン置換カルボニル化合物は催涙性が強い。
- 高压ガスも同様に高い人体有害性を持つものが多い。ガス状であることから眼に見えず、吸入しやすいため、高压ガスも注意が必要である(後章：高压ガス・液化ガスを安全に取り扱うためにⅧを参照)

【事故例】

- 手製の容器にアンモニアガスを充填し、帆布で包んで運搬中、熔接箇所が切断破裂して、アンモニアガスによって凍傷を受け、また呼吸器障害も起こした。
- 塩素ボンベが空になったと思ってバルブを取り外したところ、多量のガスが噴出して中毒を起こした。
- 水銀を赤熱板上に落とし、気化した水銀蒸気を吸入して急性中毒死した。

2-2. 刺激性・腐食性

薬品の人体有害性には、体内に摂取されたことで示す有害性と、皮膚について火

傷様の傷あとを残すもの、また、眼に入って失明させるものなど刺激性、腐食性を伴った危険を持つものが非常に多い。特に、眼は人体の中でも非常に弱い組織であり、角膜などの眼球の粘膜は薬品に極めて弱く、アルカリ、酸その他の腐食性薬品が眼に入ると失明する例が非常に多い。皮膚刺激が低いものでも、眼に入ることによって極めて強い刺激性を示すものが多く、我々が使用する薬品はほとんどが高い眼刺激を持ち、失明にまで至ってしまう薬品である。

このような事故を防ぐためには、薬品との接触を避けることがまず第一であるが、そのためには、肌の露出を防ぐこと、保護眼鏡を着用することなど、保護具着用が必須となる。保護具の着用については詳細を後述(「使用について」の項)するが、慣れや軽視によって、着用を怠る、忘れる例が多発しやすいものである。薬品を使用するものにとって必須の事項であることを強く認識する必要がある。

以下に、学内で使用される薬品の刺激性、腐食性について一例を示す。

- 強酸性化合物は皮膚に付着すると瞬時に深い傷あとを残す。もし皮膚に付着した場合は直ちに大量の水で10分間以上洗浄する。特にクロロスルホン酸や濃硫酸は水に注ぐと発熱して突沸し、飛沫を浴びる危険性があるので、これらの酸を希釈するときは、必ず水の中にこれらを徐々に流し込む。
- 水酸化ナトリウムなどの強アルカリ、濃硫酸などの強酸、及びフェノールなどの有機酸は皮膚に対する腐食性が強い。強アルカリが皮膚に付着した場合は、直ちに脱衣し、皮膚がヌルヌルしなくなるまで水で洗浄する。
- ジメチル硫酸も皮膚に対する腐食性をもつ。また、このものの蒸気は眼に障害を起こすので注意して取り扱う。この薬品を用いた場合は、手や容器をアンモニア水か炭酸水素ナトリウム水溶液で必ず洗う。
- 毒性の強い黄リンは、皮膚につくと自然発火して激しい火傷を起こす。また、その毒性は非常に強いので、もし皮膚に付着した場合は直ちに大量の水で洗浄し、過マンガン酸カリウム溶液などで解毒する。
- シアン化合物、芳香族アミン類、芳香族ニトロ化合物、フェノール類などは皮膚からの浸透性が強く、体内に入って悪性貧血など起こすので注意する。
- DCC (ジシクロヘキシルカルボジイミド)、プロモ酢酸エステル、2,4-ジニトロクロロベンゼンなどのように皮膚についてかぶれる薬品がある。
- アンモニアは後日予想外の傷害を与えることがあるので、特に注意する必要がある。



【事故例】

- 濃硝酸から王水をつくるとき、濃硝酸を誤って手にこぼして、皮膚が黄色化する化学火傷を負った。
- 希硫酸をつくるとき、濃硫酸側に水を加えたため、発熱・突沸して飛沫が眼に入った。
- 有機物の融点を測定しているとき、熱濃硫酸が入った融点測定管が破裂し、手や顔にかかって火傷した。
- メチルアミン塩酸塩をアルカリ溶液によって処理して得たメチルアミンをドライアイス-アルコールトラップに貯溜し、栓を外したとき、手の甲に冷却されたメチルアミンがかかり、凍傷とアルカリによる損傷を受けた。
- シアン化カリウムを取り扱っていて、指に付いているのを知らずに湯呑みをもって茶を飲んだところ、30秒ほどして青酸カリと叫びつつ意識を失った。幸い、近くの者がこれを聞き、直ちに病院に運び助かった。
- 腰掛けにこぼしたアニリンの上に座って、中毒を起こした。

有害な薬品

頻度高く使用され、且つ人体への危険有害性の高い薬品の代表例を以下に示す。これ以外の薬品も基本的に全て危険有害性を伴うと考え、取り扱うことが重要である。

有害な化合物

危険性区分	危険の種類	代表的物質
腐食性	人体に接触して皮膚、粘膜を強く刺激、又は損傷するもの。	水酸化ナトリウム、アンモニア水などの無機アルカリ、フッ化水素酸、硫酸、硝酸、過塩素酸などの無機酸；酸化クロム(VI)、硝酸銀などの重金属塩、ハロゲン類、クロロ酢酸、ジクロロ酢酸、トリクロロ酢酸、ピクリン酸、フェノールなどの有機酸、その他有機アミン、アルデヒド、アルコール、エステル類など
有毒性	許容濃度(吸入) 50ppm未満、又は50mg/m ³ 未満のもの、又は経口致死量30mg/kg未満のもの	塩素、臭素、ジシアン、シアン化水素、酸化窒素、四塩化炭素、硫化水素、二硫化炭素、臭化メチル、オゾン、ホスゲン、ホスフィン(リン化水素)、アルシン(ヒ化水素)、一酸化炭素、フッ化水素、二酸化窒素、水銀、ジエチル水銀、塩化エチル水銀、ニッケルカルボニル、四エチル鉛、ベンゼン、塩化アリル、酸化ウラン、亜ヒ酸鉛、酸化ベリリウム、シアン化ナトリウム、シアン化カリウム、重クロム酸カリウム、硝酸水銀(II)、セレン、黄リン、ジメチルホスファイト、アクロレイン、アニリン、ニトロベンゼン、キニーネ、硫酸ニコチン、パラチオン、プルシンなど
有害性	許容濃度(吸入) 50ppm以上、200ppm未満、又は50mg/m ³ 以上200mg/m ³ 未満のもの、又は経口致死量30mg/kg以上300mg/kg未満のもの	アジ化バリウム、亜硝酸ナトリウム、塩化アンモニア、塩化カドニウム、塩化鉛(II)、塩化マンガン(II)、クロム酸(VI)、酸化タリウム(IとIII)、臭化亜鉛(II)、硝酸ナトリウム、硝酸ベリリウム、硫酸バナジウム(III)、酢酸鉛(II)、シュウ酸アンモニウム、ステアリン酸鉛(II)、ナフテン酸カドニウム、ヨウ素、ピクリン酸、エチルエーテル、エチルメチルケトン、塩化メチル、クロロ酢酸、酸化エチレン、ジクロロベンゼン、テレピン油、2-ニトロプロパン、ピリジン、フルフラールなど

2-3. 反応性(火災、爆発の危険性)

薬品は人体に摂取、接触されることで発現する有害性だけでなく、燃える、爆発するなどの高い反応性を持つものが多い。火災や爆発によって引き起こされる危険は我々に対しての危険はもちろん、設備や建物にまで被害が及ぶ甚大な被害を引き起こすこともある。

以下に薬品の持つ反応性について特性ごとに概説する。

2-3-1. 発火性物質

発火性物質は空気に触れるとすぐに発火する。空気との接触を避ける必要があり、保管方法に注意が必要である。また、反応性の高い物質でもあるため酸化性物質など、他の物質との混触を避けるなど注意が必要である。

(個々の薬品についての注意事項の例)

- 黄リン及びラネーニッケル、還元白金、還元パラジウムなどの金属は、完全に水を満たした瓶中に貯蔵し、直射日光を避ける。
- 有機アルミニウム、有機リチウム化合物などは密閉容器中またはアンプル中に保存する。
- 酸化性物質との混合を避ける。

【事故例】

- 20% Pd-Cを用いる接触還元で、秤量したPd触媒を足長ロートを通し空気中で反応容器に加えたところ、管の中で発火し、Pd-Cが吹き上がった。
- ジエチルモノクロロアルミニウムをボンベから注射器で取り出した後、注射針の根元から漏れて手に火傷した。
- ラネーニッケル触媒を用いて水素化後、反応液をろ別、残渣を溶剤で洗浄後、ろ紙ごとゴミ入れに捨てたところ、乾燥した触媒が発火し、紙屑に燃え移った。

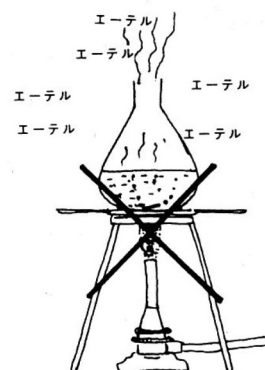
2-3-2. 引火性物質

空気に触れただけでは発火しないが、発火に必要なエネルギーを加えると、容易に発火する。裸火だけでなく、電気火花、静電気などでも容易に引火する。

引火点が室温以下のものは、引火しやすい物質であるため、消防法で危険物第四類第一石油類及び特殊引火物にあたり、特に注意が必要である。

(個々の薬品についての注意事項の例)

- 引火性液体の加熱には裸火を用いてはならない(スイッチの接点、モーター等のスパークも火種となる)。ジエチルエーテル(エーテル)、ペンタン、二硫化炭素は特に引火性が強く、取り扱いに注意を要する。中でも二硫化炭素は発火点が100℃で、火がなくても自然発火するため特別の注意を要する。
- 内容物の少なくなった容器は、内部に揮発した気体が充満しているため、引火、爆発の危険性が高い。



【事故例】

- エーテル抽出物をろ別後、残った乾燥剤を水に溶して流しに捨てた際、わずかに含まれていたエーテルがガス湯沸かし器の火に引火し、火傷を負った。
- 加熱状態の反応器にエーテルを注いだため、蒸発、発火し、火事になった。
- フラスコをアセトンで洗って乾燥器に入れたところ、アセトンが気化して爆発し、乾燥器の扉が遠くまで飛んだ。
- 二硫化炭素の廃液を焼却するとき、点火と同時に爆発的に炎が広がり、火傷をした。

Topics : 引火点と発火点

薬品の燃えやすさを判断する温度として、「引火点」と「発火点」がある。「引火点」とは火気（バーナーなどの裸火やスイッチなどの電気火花、ヒーター線等）により着火する温度であり、「発火点」とは自然発火温度とも言われ、火気がなくても空気中の酸素と反応して着火する温度のことである。

(例)

ジエチルエーテル：引火点：-45℃、発火点：160℃

ガソリン：引火点：-43℃、発火点：300℃

エタノール：引火点：12.8℃、発火点：371℃

油（菜種油）：引火点：313℃、発火点：360℃

2-3-3. 可燃性物質

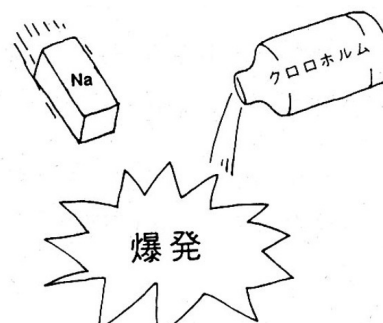
室温では裸火のような火源があっても引火しないが、加熱すると簡単に引火する。引火点によって引火性物質と区別される。特に高温加熱している際に、水などの異物混入により突沸し、引火しやすい。

【事故例】

- 潤滑油をガス直火で減圧蒸留し、終了後、直ちに減圧コックを開いたところ、フラスコに空気が入って爆発した。
- 溶剤を蒸留中、忘れていた沸石を加熱時に加えたところ、突沸し、近くのバーナーに引火した。

2-3-4. 禁水性物質

水と発熱的に反応し、可燃性、爆発性あるいは有害ガスを放出する。これらの物質によって、火災が起こっても水をかけてはならない物質。空気中の水分や、皮膚の水分とも反応するため、大気中に放置も厳禁であり、取り扱い時はゴム手袋やピンセットを用い、直接手で触



れてはいけない。

(個々の薬品についての注意事項の例)

- 金属ナトリウムやカリウムは、分割して石油中に密閉、保管する。削り屑はアルコールで分解処理する。その際発生する水素に引火せぬようにする。
- 金属ナトリウムやカリウムは、ハロゲン化物と接触すると爆発することがある。

【事故例】

- 石油中に貯えた金属ナトリウムの削りかすを、アルコールで処理した後、石油を不注意に流しに捨てたところ残っていた微粒のナトリウムによって発火し、石油に引火してぼやとなった。
- 予備乾燥が不十分なテトラヒドロフラン(THF)をナトリウムワイヤーで乾燥中発火した。
- 水素化アルミニウムリチウム(LiAlH₄)の入ったフラスコにエーテルを注加して発火した(一般には、エーテル中にLiAlH₄を加える)。

2-3-5. 爆発性物質

液体や固体には化合物自体が不安定で熱や衝撃により爆発する爆発性化合物と、成分化合物単独では安定であるが混合したときに爆発する爆発性混合物とがある。

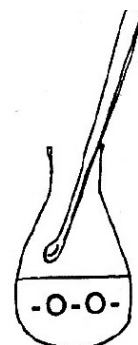
1) 爆発性化合物

爆発性化合物は次のような結合を持っている。これらの結合がある物質を使用する場合には、微量の金属が分解爆発を促進することから金属スパチュラは使わないことや、スリ合わせガラスは絶対に使用不可であること、など取り扱いには十分な注意が必要である。

O-O	過酸化物(ペルオキシド)、オゾニド
O-Cl	塩素酸、過塩素酸、その塩やエステル
N-O	硝酸エステル、亜硝酸エステル、ニトロソアミン、アミノキシド、ニトロ化合物アミン硝酸塩、アミン亜硝酸塩
N-N	ヒドラジン
N=N	ジアゾ化合物、アジ化物
O-N=C	雷酸塩
C≡C	アセチリド

(個々の薬品についての注意事項の例)

- エーテル類は空気と触れて過酸化物を作りやすく、蒸留時に濃縮され、爆発する危険性があるので要注意。ブタジエンや塩化ビニルのような不飽和化合物も同様である。エーテル類は空気から遮断し、冷暗所保存。還元剤(鉄粉、銅粉)や酸化防止剤(ヒドロキノン、ジフェニルアミン)を入れて保存すると有効。
- 過酸化物の除去剤としては、硫酸鉄(II)水溶液、活性アルミナ、亜硫酸水素ナトリウム、水素化ナトリウム、水素化アルミニウムリチウムなどがある。また、過酸化物の検出法としてはヨウ化カリウム



ーデンブンプ法がある。

- アンモニア性硝酸銀溶液を数時間保存すると、窒化銀の生成が起こり、摩擦などで爆発する危険がある。

【事故例】

- 過酸化アセチルを、金属スパチュラを用いて秤量中爆発し、指を切断した。
- エポキシ化を行い、生成物を蒸留したところ、残存していた過酸化物が爆発し、片眼を失明した。
- 缶出しのテトラヒドロフラン (THF) を蒸留中、残量が少なくなった容器を油浴から出したと同時に爆発し、ガラス片を全身に浴びた。

2) 爆発性混合物

混合することで爆発的な反応を起こし、爆発する混合物である。引火性、可燃性の物質と酸化性物質と混合すると爆発を起こしやすい。基本的に薬品は不用意に混合すると反応によって爆発を起こすため「混ぜるな危険」であるが、特に消防法で指定される混合、混載の禁止の組み合わせ(後述)などは混合すると危険である。

【事故例】

- 過酸化ナトリウムを紙の上に少量取り、包もうとしたとき、摩擦で発火した。
- 過塩素酸塩を乾燥させたため爆発し、容器の破片で被災した。
- ニトロ化反応物を蒸留中、混入していたポリニトロ化合物により残液が爆発した。

危険物一覧表

以下には危険物の一覧として、危険性によって区分したものと代表的な物質の例を示す。危険物には、法令によって様々な分類や規制がされており、後述の3-1-3中に記載する消防法の危険物分類も薬品使用においては重要な分類であり、合わせて把握してほしい。

危険性区分	危険の種類及び程度	代表的物質
発火性	空気と接触によって発火するもの 空気中における発火点が 40℃未満のもの	黄リン、トリエチルアルミニウム、金属ナトリウム、金属カリウム
引火性	可燃性ガス、または引火点が 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、二硫化炭素、ベンゼン、トルエン、エチルアミン、ピリジン、酢酸エチル、アセトン、メタノール、エタノール、ヘキサン、エーテル、石油エーテル、ガソリン、ペンタン
可燃性	引火点 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、エチレンジリコールモノエチルエーテル、グリコール、酢酸、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
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、生石灰

爆発性	重量 5kg の落ついを用い、落高 1m 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	ガス：水素、メタン、一酸化炭素、アンモニア、酸化エチレン その他：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、硝酸ゲアニジン、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示すもの	液体：過酸化水素、硝酸、過塩素酸、液体空気 固体：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

2-4. 環境への有害性

人体に有害であることと同様にして、化学物質の環境中への流出は甚大な被害につながる恐れがある。

公害となり、未だに被害に苦しむ人の多い水俣病や、イタイイタイ病などは、工場で作成された化学物質が海や川などに流出し、魚等の汚染から、最終的に人体被害にまで至った例である。

身近なところでも、臭気の異常に強い物質を大気に放出してしまえば、近隣住民を含めたトラブルとなり、有害物質を水道に放流してしまえば、下水処理場などの汚染や、その先の河川、河川の魚など生態系にまで被害が及ぶ可能性が高い。

そういった点からも薬品の使用時には閉じた系内で使用し、外に放出、漏洩がない環境を作り、実験を行うことが必須である。また、汚染、被害を防ぐために廃棄の手順など様々なルールがあり、これらの遵守は使用者として厳守しなければならない。

3. 薬品の取り扱い

これまでに述べたように、薬品には危険有害性が伴い、取り扱いを間違えれば命を落とす危険さであることを認識しなければならない。この薬品を適正に取り扱うためには、以下の点を把握しておく必要がある。

- ・正しい保管管理をすること
 - ・・・危険有害性を把握した上で、正しい保管場所へ保管すること
 - ・・・法令情報を把握した上で適正な保管場所で適正な保管を行うこと
 - ・・・混同すると危険な物質を区別して保管すること
 - ・・・耐震対策を行うこと
 - ・・・必要以上の量を保持しないこと
 - ・・・在庫管理(薬品管理システム等を活用して)を行うこと
- ・正しい使用・取扱を行うこと
 - ・・・適正な保護具を必ず着用すること
 - ・・・局所排気装置(ドラフトチャンバー)の使用を徹底すること
 - ・・・使用量の把握(薬品管理システム等を活用して)を行うこと
- ・正しい廃棄を行うこと
 - ・・・適正な手順に従った廃棄を行うこと
 - ・・・いたずらに適当に捨てないこと

- ・各種法規制に基づく対応を行うこと
 - ・・・定期的な検査、調査、報告などを行うこと
- これらに関して、以下に説明する。

3-1. 保管について

薬品を保管、使用する我々は、大前提としてどこに何がどれくらいあるのかを把握しておくことは必須である。これらの把握は、研究計画にも大きく関係するものである。

それに加えて、前述したような危険有害性を持つ薬品類は保管方法を誤ると人体に曝露する危険や、引火・爆発する危険性があることは言うまでもなく、「危険なもの」を保管している、という意識を強く持つことが重要である。

3-1-1. 薬品の漏洩・流出防止、薬品棚の転倒防止

薬品の保管においては、まずは蒸気を含めた薬品の漏洩を防ぐこと、そして保管時における転倒、落下、それによる流出を避けるための対策を取る必要がある。

- 薬品を取り扱う場合は、飛散、漏れ、紛失などのないように十分注意すること
- 破損や割れ、また密栓の不良のある容器類は、こぼれたり、漏れたり発散する恐れがあるので使用は厳禁
- 飲食物用の容器は薬品用の容器に絶対に使用しないこと
- 薬品容器のフタは使用时以外は必ず密栓すること
- 実験台に多数の薬品類を放置しないこと
- 通路上に薬品類を置かないこと
- 廃液容器も漏斗等を差したままにせず、密栓すること
- 溶媒や廃液を移動させる場合は容器が破損をしないような措置を施し、多数の容器を同時に運ばないこと。エレベーターは、薬品だけを乗せて無人で移動させること
- 劣化した薬品、ラベルがはがれた薬品が保管されていないか、定期的に点検すること
- 薬品の劣化、漏出により保管庫全体が汚染されていないか定期的に点検すること
- 万一、容器が破損した場合でも、薬品の流出、混合による火災爆発が発生しないように、間仕切り箱などで分離して保管すること
- 地震時の落下破損を防止するために、薬品棚には落下防止バー等を設置すること
- 薬品棚はL字金物等を使用して2点以上壁等に固定すること
- 段積み保管庫は上下を金物で固定すること(壁等のない場所では、上部下部を金具等で固定すること)



3-1-2. 火気・熱源からの隔離

前述の通り、薬品は高い引火性、反応性を持つため、火気、熱源との接触は厳禁である。

- 発火性・引火性・爆発性の薬品は、火気や熱源から隔離すること
- 揮発性の溶剤を使用している実験室では直火の暖房機器を使用しないこと
- 裸火はもちろん、電気機器の火花、静電気などでも着火するため、溶剤の蒸気も含め、接触に十分注意すること



過去に起きた事故・ヒヤリハットから

● 危険物の発火事故

合成反応の際に、反応温度を維持するために用いるメタノールバスのメタノールが乾枯していることに気づき、メタノールを補充しようとしたところ、乾枯により強熱状態にあったパイプヒーターによってメタノールが発火しました。メタノールの乾枯を防止する措置はとっておらず、さらにメタノールバスの温度感知部位が冷却部に直接接触しており、そのためにサーモヒーターの強熱状態が生じたと考えられます。メタノールは劇物であり危険物でもあります。冷媒ツールにはグリコール系冷媒など発火・引火温度の低い溶剤を選択してください

3-1-3. 保有量の制限

引火性、爆発性などの反応性の高い薬品を使用する場合、その危険を軽減するため、一カ所に大量に保管することが法令(消防法)でも禁止されています。

- 必要以上に多量の薬品、溶媒類を購入、または保管しないこと
- 原則として、1斗缶は危険物貯蔵庫に保管し、部屋内には持ち込まないこと

Topics : 危険物は保持量の上限が決められています!

危険物には「指定数量」という値が決められています。「指定数量」とは、危険物の危険性を勘案して、政令で定められた数量であり、危険物規制上の基本となる数量です。危険性にランク付けをし、そのランクによって、危険性の高い危険物には指定数量は少なく、危険性の低い危険物には指定数量を多くなっています。

この指定数量を元に、危険物は保有量の上限が定められています。この上限以上持つ場合は消防署に届出、許可が必要になります。具体的には、指定数量を元にした倍数値(倍数値= 保有量 / 指定数量)の合計で

- ・・・1つの防火区画で0.2未満まで保持可能(0.2を超える場合、届出申請が必要)
- ・・・少量危険物貯蔵取扱所=1.0未満まで申請が可能
- ・・・危険物取扱所=1.0以上の取扱(有資格者が必要)

消防法における危険物の分類と性質・取り扱い法

類別	分類	化合物名	性質	指定数量	共通する性質	貯蔵・取り扱い方法
第1類	酸化性固体	1 塩素酸塩類	第1種酸化性固体	50kg	<ul style="list-style-type: none"> 強い酸化力を持つ 加熱、衝撃、摩擦等で分解し酸素を放出する 潮解性があるものがあり、紙や布にしみこむ 水に溶け、その際に発熱するものがある 	<ul style="list-style-type: none"> 強酸類と接触させない 可燃物と共に貯蔵したり、混載しない 加熱、衝撃、摩擦を避ける 容器の破損による漏出を避ける 直射日光を避け、換気の良い冷暗所に保存する 潮解性のあるものは水分、湿気から遠ざける
		2 過塩素酸塩類				
		3 無機過酸化物				
		4 亜塩素酸塩類				
		5 臭素酸塩類				
		6 硝酸塩類	第2種酸化性固体	300kg		
		7 ヨウ素酸塩類				
		8 過マンガン酸塩類				
		9 重クロム酸塩類				
		10 その他政令で定めるもの	第3種酸化性固体	1000kg		
		11 前各号に掲げるもののいずれかを含有するもの				
第2類	可燃性固体	1 硫化リン	第1種可燃性固体	100kg	<ul style="list-style-type: none"> 空気中で徐々に酸化する 酸化時に発熱し、自然発火することがある 比較的低温で着火しやすい 燃焼すると燃焼速度が速い 水には溶けない 	<ul style="list-style-type: none"> 酸化剤、空気との接触を避ける 第1類危険物との混載を避ける 比較的低温で着火しやすい 炎や火花など高温体との接触を避ける 摩擦、衝撃を避ける 鉄粉、金属粉は水と接触させない
		2 赤リン				
		3 イオウ				
		4 鉄粉	第1種可燃性固体	100kg		
		5 金属粉				
		6 マグネシウム	第2種可燃性固体	500kg		
		7 その他政令で定めるもの				
		8 前各号に掲げるもののいずれかを含有するもの	引火性固体	1000kg		
		9 引火性固体				
第3類	自然発火性物質および禁水性物質	1 カリウム	第1種自然発火性物質および禁水性物質	10kg	<ul style="list-style-type: none"> 水と激しく反応して発熱する 水と反応して可燃性の気体を発生する 空気との接触で自然発火するものがある 	<ul style="list-style-type: none"> 禁水性物質は水分、湿気との接触を避ける 自然発火性物質は、炎、火花、空気を避ける アルゴン等の不活性ガスを封入して貯蔵する 保護液中で保存する際は保護液から露出しないようにする 小分けにして保存する
		2 ナトリウム				
		3 アルキルアルミニウム				
		4 アルキルリチウム				
		5 黄リン				
		6 アルカリ金属（カリウムおよびナトリウムを除く）およびアルカリ土類金属	第2種自然発火性物質および禁水性物質	50kg		
		7 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）				
		8 金属の水素化物	第3種自然発火性物質および禁水性物質	300kg		
		9 金属のリン化物				
		10 カルシウムまたはアルミニウムの炭化物				
		11 その他政令で定めるもの				
		12 前各号に掲げるもののいずれかを含有するもの				
第4類	引火性液体	特殊引火物		50ℓ	<ul style="list-style-type: none"> すべて液体である 極めて引火しやすい 水より軽く、水に溶けないものが多い 蒸気は空気より重い 蒸気の燃焼範囲が広く、空気との混合で燃焼、爆発を起こす 電気の不良導体のため、静電気がたまりやすく、静電気による引火を起こす 	<ul style="list-style-type: none"> 火気厳禁 引火点より低い温度に保つ 通風換気をよくする 第1類、第5類の危険物から離す 外部への漏出防止策を講じる 蒸気を外部へもらさない 激しい撹拌や速い流速を避けて静電気を防止する 熱膨張による容器破損を避けるため、容器は満杯にしない
		第1石油類	非水溶性液体	200ℓ		
			水溶性液体	400ℓ		
		アルコール類		400ℓ		
		第2石油類	非水溶性液体	1000ℓ		
			水溶性液体	2000ℓ		
		第3石油類	非水溶性液体	2000ℓ		
			水溶性液体	4000ℓ		
		第4石油類		6000ℓ		
		動植物油類		10000ℓ		
第5類	自己反応性物質	1 有機過酸化物	第1種自己反応性物質	10kg	<ul style="list-style-type: none"> 加熱、衝撃、摩擦により激しく爆発する 容易に着火する 燃焼速度が極めて速い 長期間酸化されると熱分解し自然発火する 酸素を含有しているものがある 	<ul style="list-style-type: none"> 加熱、衝撃、摩擦を避ける 可燃物から離す 他の薬品と接触させない 冷暗所に保存する 室温、湿気、通風に注意する 容器が破損しないようにする
		2 硝酸エステル類				
		3 ニトロ化合物				
		4 ニトロソ化合物				
		5 アゾ化合物				
		6 ジアゾ化合物				
		7 ヒドラジンの誘導体	第2種自己反応性物質	100kg		
		8 ヒドロキシルアミン				
		9 ヒドロキシルアミン塩類				
		10 その他政令で定めるもの				
		11 前各号に掲げるもののいずれかを含有するもの				

第6類	酸化性液体	1 過塩素酸	300kg	・液体で強い酸化力を持つ ・可燃物に接触すると発火させる ・水と接触すると発熱する ・金属と激しく反応し発熱する	・他の可燃物、金属から離す ・貯蔵にはガラス張りの容器等を用いる ・人体に接触させない ・取り扱い時には保護具を使用する ・水分や湿気に注意する
		2 過酸化水素			
		3 硝酸			
		4 その他政令で定めるもの			
		5 前各号に掲げるもののいずれかを含有するもの			

類の異なる危険物の同一貯蔵・混載の危険関係掲載

危険物の類	第一類	第二類	第三類	第四類	第五類	第六類
第一類	—	×	×	×	×	○
第二類	×	—	×	○	×	×
第三類	×	×	—	○	×	×
第四類	×	○	○	—	×	×
第五類	×	×	×	×	—	×
第六類	○	×	×	×	×	—

消防法では、6つの分類に基づき、保管や運搬をする際に、混載・混同することが危険な組み合わせを特定している。以下の表中で「×」の記載のあるものは混同することで反応を起こし、引火・爆発の起こりえる組み合わせである。保管する際にもこれらの組み合わせは避け、離して保管するなど工夫が必要である。

3-1-4. 毒物・劇物の適正管理

毒物、劇物は、人体に対して、毒性または劇性を持つ薬品のことで、毒物及び劇物取締法という法律で取り締まられている物質である。毒物、劇物は傷害や殺人といった犯罪に使用される可能性があり、大学で管理している毒物、劇物の紛失等が犯罪につながれば、法的、社会的責任を問われるとともに、教育、研究に多大な支障が生じるため、厳重に管理する必要がある。

- 毒物、劇物の保管庫は専用且つ堅固な保管庫を用い、必ず施錠し、カギの管理を徹底すること。鍵の管理者が不在の場合も、鍵を使用者に預けたままにするのではなく、別の教職員等が代理者として責任を持って適切に管理すること
- 毒物、劇物、他の薬品は分別保管すること
- 毒物と劇物も同じ保管庫ではなく、それぞれ別の鍵のかかる保管庫で管理すること（保健所からの指導に基づく）。
- 毒物、劇物を保管している場所には「医薬用外毒物」（赤地に白字）、「医薬用外劇物」（白地に赤字）の表示をすること



Topics : 毒物管理の一工夫 :

要冷蔵の毒物を保管したい場合、冷蔵庫が必要になります。毒物専用の冷蔵庫を用意するのはなかなか大変です。こんな場合、その毒物が入る程度の小さな金庫を用意し、冷蔵庫中に入れ、固定することで別のカギを使った分別管理が可能になります。



鍵付き冷蔵庫内での毒物保管例（金庫利用）

Topics : 毒物、劇物

毒物及び劇物取締法上で定義される人体に有害な物質には「特定毒物」「毒物」「劇物」の3種類があります。

- ・ 特定毒物：毒物中、特に経皮毒性の強いもの
- ・ 毒物：体重1kg 当り経口致死量 30mg 以下
- ・ 劇物：体重1kg 当り経口致死量 30 ~ 300mg

つまり、毒性の強さは特定毒物>毒物>劇物となります。

毒物、劇物は試薬ビンに必ず「医薬用外毒物」（赤地に白字）、「医薬用外劇物」（白地に赤字）のラベルが貼られています。

注意!：ドクロマークや「Harmful」という表記のある試薬もたくさんあります。この表記は毒物や劇物を表しているものではありません。但し、人体に有害であることは間違いないので、取り扱いには注意が必要です。

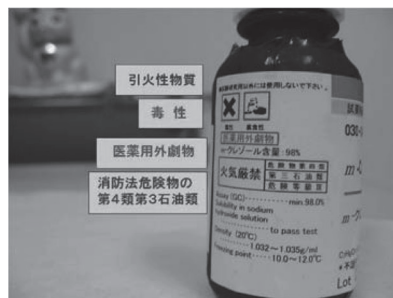
医薬用外毒物

アジ化ナトリウム
 アリルアルコール
 シアン化水素
 シアン化ナトリウム
 水銀
 セレン
 砒素
 ホスゲン
 ヒドラジン
 フッ化水素、など

医薬用外劇物

無機亜鉛塩類
 アクリルアミド
 アニリン
 アンチモン化合物
 アンモニア
 エチレンオキシド
 塩化水素
 塩素
 塩化エチル
 過剰化水素
 カドミウム化合物
 カリウム
 ギ酸
 キシレン
 クロロホルム

酢酸エチル
 有機シアン化合物（アセトニトリル）
 臭素
 硝酸
 水酸化カリウム
 水酸化ナトリウム
 無機銅塩酸
 トルエン
 ナトリウム
 鉛化合物
 二硫化炭素
 フェノール
 ホルムアルデヒド
 メタノールなど



引火性物質
 毒性
 医薬用外劇物
 消防法危険物の
 第4類第3石油類

以上のように、保管においても様々な注意事項とルールがある。適当な管理は我々に危険として襲いかかるだけでなく、長期間、適当に保管された薬品は、ラベルがはがれ、内容物が不明になってしまう。不明薬品は、通常の薬品処理と異なり、中の成分を特定した上で処理する必要があるため、処理費用が10倍以上にも跳ね上がる。また、中の成分が長期間の放置によって酸化や反応を起こし、開封することも危険な薬品になっているなど、大変な危険が伴う。

薬品の管理規制(法令など)はその危険性によって変更が頻繁にあり、その都度管理規制が厳しくなることがままある。適正な管理をせず、長年、薬品を放置してしまうと、この法令変更を見逃すことになり、発見された時には、不適正管理の法令違反となり、始末を受けることになってしまう。実際に大学においてはこういう例が残念ながら多発してしまっている。これらは全て管理の不行き届きによるものである。

大学においては、研究室で所有するすべての薬品は基本的に大阪大学薬品管理支援システム(OCCS:本章5を参照)に登録する必要がある。研究室における保管管理だけでなく、PRTR 制度(後述)など、大阪大学全体としての法対応のためにも必要事項であり、OCCSの使用方法も含め、熟知した上で薬品を取り扱う必要がある。

3-2. 使用について

危険有害性のある薬品類を使用する際には、特別な注意が必要になることは言うまでもない。本章の始めで述べたように、薬品による事故が多発しており、そのほとんどが使用時における薬傷や発火事故であり、最も危険な状況にあることを認識しなければならない。

3-2-1. 使用時の大原則

まずは、薬品を使用する際の大原則を以下に述べる。

- 実験室内は常に整理整頓すること
- 実験室での飲食は厳禁
- 薬品は、許可された場所(実験室等)以外、研究業務以外で使用しないこと。
- 居室と実験室は分けること
- 使用後の後片付けを必ず行うこと。使用した器具に付着した有毒物質や反応残渣を絶対に残さないこと。次に使用する人に多大な迷惑が及ぶ危険性がある。
- 必要以上の量を使用しないこと。できるだけ使用量を削減すること
- 毒性、可燃性、爆発性など特に危険性の高い物質は、実験計画の段階から代替物質について十分に検討し、危険性の高い物質の使用を避ける努力をすること
- 保護具を必ず着用すること(後述)
- 局所排気装置を必ず使用すること(後述)。部屋内に薬品臭がする状況は絶対に避けること。有機溶剤の蒸気は空気より重く、床上を流れて広がる。
- 薬品の使用記録、特に毒物、劇物については使用の都度記録を取ること(後述)
- 実験室内には、飲食・喫煙禁止の表示や、使用有機溶剤の区分表示等、必要なラベル表示をすること(後述)

- 使用している薬品に応じた応急処置の方法を把握しておくこと
- 定期的な健康診断を必ず受診すること

3-2-2. 保護具の適正使用

保護メガネや白衣、マスク、保護手袋などの保護具は薬品を使用するものにとっては着用するのが当たり前のアイテムである。しかしながら、使用に慣れてくると、その危険性を軽視し、着用を怠るようになってしまう。結果、眼や足などに薬品が付着し、病院に搬送されることになってしまう事故が多発してしまっている。自身の身を最終ガードするために必ず、着用することを徹底してほしい。

- 実験前・作業前に保護具を準備すること。保護具は大学生協でも購入できる。
- 実験をしない場合でも、実験室に入室する際には必ず保護具を着用すること。
- 保護具に汚れやキズがないか、着用前に確認すること
- 周囲の作業者にも注意を払うこと。自分自身は慎重に作業していても、周囲の作業者から薬品等が飛散、侵入する可能性がある。
- 緊急時のアイシャワーの位置を把握しておくこと

過去に起きた事故・ヒヤリハットから

- 隣の学生が使っていたシリンジの先から飛散した薬品が自分の眼に侵入した

実験室内のドラフト付近で、後輩の指導中に、後輩が使用していたシリンジ針の先に付着したアルカリ性溶液(メチルリチウムのジエチルエーテル溶液)が針の弾性が原因で飛散し、保護めがねを着用していなかった被災者の眼に侵入した。なお、実験指導の直前まで、自らの実験では着用していた。

- 保護めがねを着用していたため薬品の眼への侵入を回避した

フェロセン生成の実験実習中、水酸化カリウム THF 溶液がナス型フラスコのゴム栓が外れた拍子に飛散し、顔や胸にかかった。しかしながら、ゴーグル型の保護めがねを着用していたため、眼の負傷を逃れることができた。

もし誤って眼に薬品が入った場合は、まず直ちに15分以上流水で洗浄した後、一刻も早く医師の診断を受ける必要がある。

Topics : 保護具の着用で防げたはずの事故

2004年4月から2008年3月までの間、安全衛生管理部に報告があった薬品等の接触事故のうち、約半数が眼に侵入しています(図1)。そのうち、保護メガネが未着用だったケースが8割以上を占めています(図2)。

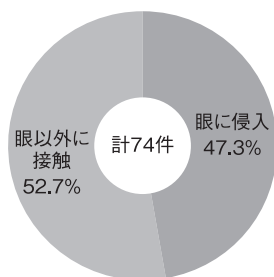


図 1. 化学物質事故の負傷箇所は？

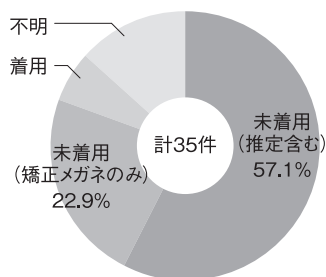


図 2. 事故発生時に保護めがねを着用していたか？



メガネケースの設置



ストラップの活用

3-2-3. 局所排気装置の適正使用

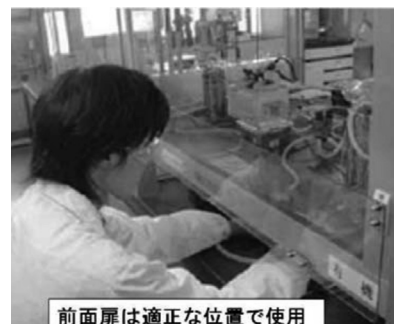
薬品を使用した実験では、揮発や、飛散等によって、化学物質がガス状・粒子状など様々な形態で飛散する可能性がある。これらの飛散物質による曝露を防止しないと、人体に甚大な悪影響を与える恐れがあることから、作業している人や作業している場所にいる人達を保護する必要がある。

「局所排気装置」はドラフトチャンバー、ヒュームフードとも呼ばれ、有害物の発生源の近くに空気の吸込み口を設けて常に吸引する気流を作り、有害物がまわりに拡散しないようにして、作業者が汚染された気流に曝露されないようにする装置である。

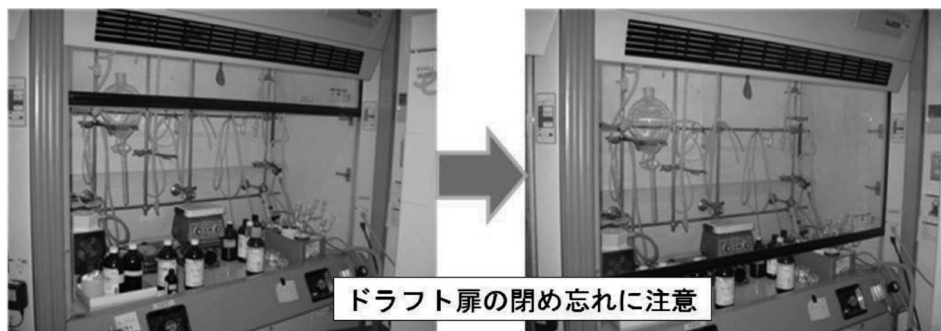
局所排気装置には様々な種類があるが、薬品を使用する以上、必ず、揮発した薬品蒸気、粉じんが飛散するため、局所排気装置の使用徹底は必須である。

局所排気装置の使用は、労働安全衛生法の有機溶剤中毒予防規則、特定化学物質等障害予防規則により、法的にも厳しく規制されており、特に、第1種及び第2種の有機溶剤、第1類及び第2類の特定化学物質を取り扱うときは、局所排気装置の使用が義務付けられている(3-4-1項で後述)。

- 吸引していることを必ず確認すること。目視のためにリボンを扉に貼り付けておくと、確認がしやすい。
- ドラフトチャンバーの前面扉は適正な風速が得られる位置で使用すること。前面扉を開放しすぎると風速が得られず、吸引できない。
- 実験操作していない時はドラフトチャンバーの前面扉を閉めること



前面扉は適正な位置で使用



- ドラフトチャンバー内は、整理整頓すること。実験で用いたティッシュやポリ袋などの軽いものが吸い上げられ、ダクト内に滞留し、風速が低下することがある。
- 給気ガラリ等の給気口は確実に開いているか確認すること
- 有害な蒸気、ガスはそのまま放出してはいけない。適切な溶液に吸収させ、必要があれば適切な処理を行った後、廃棄すること



【事故例】

- ドラフト内でアミノアルコールの臭化水素酸塩と三臭化リンを加温反応させたところ突然爆発が起こった。原因は、臭化水素酸のラベルの貼ってあった容器の中身が実は過塩素酸を含む廃液であったためである。
- 通常の実験台で溶媒に溶解し、ピペットを用いて分注していたところ、溶媒が付着したピペットを短時間放置したため、ピペットからのにおい(揮発した溶媒のものと思われる)に過敏に反応して、めまい、動悸などの体の不調を感じた。

Topics : 有機溶剤による洗浄作業

有機溶剤は油も溶かす、早く揮発する、などの特徴から、洗浄作業に大量に使用される有用なアイテムです。しかし、これまでに述べたように有機溶剤の多くは人体への有害性が高いため、曝露の継続は取り返しのつかないことになってしまいます。洗浄作業であるため、安易に考え、適当にドラフト外で処理してしまうことのないようにしてください。

- ・ 作業は局所排気装置の中でしょう：溶剤の臭いを感じたら危険信号です!
- ・ 絶対に換気しよう：とにかく吸わないように!!
- ・ 有害性が少ないものにしてよう：使うならできるだけ有害性が低いものにしてしまおう
(例：有害性 クロロホルム>アセトン>エタノール)
- ・ 廃液タンクのフタ開けにも注意!



Topics : 局所排気装置の定期点検

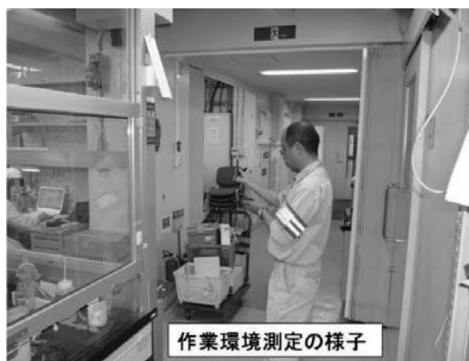
局所排気装置、プッシュプル型換気装置及び除じん装置等については、1年以内ごとに1回、定期に自主検査を行うよう法令で義務づけられている。自主検査の記録は3年間保存しておく必要がある。

本体の排風機や、ダクトの点検などは部局単位等で点検を行うが、自身の使用するドラフトにおいて、整理整頓や、外観目視による傷、腐食の確認、前面扉の開閉状態の確認、そして、適正な制御風速が得られているか、という確認は定期的に行っておく必要がある。

制御風速：局所排気装置の能力を判断する最も基本的な値である。装置の吸い込み気流の最低風速のことを指し、この風速が足りないと適正に有害物質を捕捉することができない。この最低風速は法令で定められており、装置の形状などでも異なるが、基本的に有機溶剤を使用する場合は0.4m/s、特定化学物質を使用する場合は0.5m/sが基準となる。

Topics : 実験室中の空気に化学物質はどれほど残るか？（作業環境測定）

第1種及び第2種の有機溶剤、第1類及び第2類の特定化学物質を使用している場合、6ヶ月以内ごとに1回、定期的に空気中の濃度を測定し、測定結果に基づき、作業環境状況を評価する必要がある（作業環境測定）。測定濃度に基づき、第1～第3管理区分に評価分類され、第2、第3管理区分と判定されれば、適切な作業環境とはいえ、改善措置が必要となります。大阪大学では500カ所以上の部屋で半年に一度、この作業環境測定が行われています。



3-2-4. 毒物劇物の使用記録

毒物、劇物は保管においても厳重な管理が必要であることは3-1-4項で述べた通りであるが、当然、使用時にも厳重な管理が求められる。毒物、劇物はほんの少量であっても致死量となるため、漏洩、紛失の防止、現有量と使用量の確認など、注意すべき点が多くある。

- 毒物を保管庫から出し入れする場合は、単独で行うのではなく、複数人が立ち会い、種類及び量を確認すること
- 原則として、単独で毒物を使用する実験を行わないこと
- 毒物、劇物の購入量、使用量、保管量は確実に記録しておくこと。大阪大学薬品管理支援システム(OCCS)を用いて、帳簿を残すことが望ましい。
- 定期的にOCCS等に記録された保管量と実際の保管量が一致しているかどうか、天秤等で計量し、点検すること(棚卸ろし)

過去に起きた事故・ヒヤリハットから

● 毒物の盗難、紛失

大学の実験室からシアン化カリウムなどの試薬瓶3本が紛失した(100人分の致死量)。警察に被害届を提出し窃盗事件として捜査された。試薬は通常、施錠された棚に保管しているが、研究者らの出入りが多く鍵が開いていることも多かったという。

3-2-5. 実験室内での掲示、薬品の注意事項の掲示

薬品を使用する実験室では、ラベルなどの様々な掲示が必要となる。現場において行われている危険作業を可視的に確認できることを目的としているものであるため、必ず掲示を行う必要がある。

- 薬品を取り扱う実験室では、保護具の着用、関係者以外の立入禁止、喫煙、飲食を禁止する旨を見やすい場所に掲示すること
- 有機溶剤を使用する場合は、有機溶剤等の区分(第1種～第3種)を、色分けなどの方法により、見やすい場所に表示すること
- 特別管理物質を取り扱う場合は、関係者以外立入禁止、種類、中毒の内容・保護具等の情報を物質毎に掲示すること

参考：<http://www.osaka-u.ac.jp/jp/facilities/anzen/gakunai/safety-sign/safety-sign.html>



3-3. 廃棄について

薬品は購入から、保管、使用において、取り扱いに十分な注意が必要であることは前述した通りである。薬品は使用した後に「廃棄」という工程が必ず伴うことを忘れてはならない。取り扱い上、危険なものは、廃棄する段階になったものでも、適正な廃棄、処理を終えるまでは「危険なまま」であることを認識する必要がある。

購入した時点で、保管時、使用時のみならず、廃棄に至るまで、管理、経費にかかわることはすべて使用者(研究室)の責任事項である。危険なものを廃棄するための厳格な手順、ルールがあることを十分把握し、遵守する必要がある。

薬品の廃棄の手順、注意事項に関しては、後章(「実験廃棄物の安全な処理のために」)に記述した。詳細な捨て方、注意事項は同章に記載するものとし、ここでは廃棄に関する初歩的な大原則、諸注意を記載する。薬品を取り扱う以上、廃棄は必ず行うものであるため、この同章も含め、熟読してほしい。

- 廃液も危険な「薬品」である。前述の薬品の漏洩・流出防止、転倒防止、落下防止や、火気・熱源からの隔離等、保管には十分注意すること
- 薬品を含有した廃液は、流しなどから絶対に排出しないこと
- 薬品は一般廃棄物とともに捨てないこと
- 廃液の捨て方には厳格なルールがある。ルール、手順を十分に把握し、絶対に適

当に捨てないこと。

- 廃液の廃棄ルールは部局単位で定められている。一部、本学の環境安全管理センターで処理を行っている。センターでの処理を行う場合は、同センターのホームページ(<http://www.epc.osaka-u.ac.jp/>)を参考にすること
- 廃液は種類毎に分別し所定の容器で保管すること



3-4. 法規制について

これまでに説明を行ってきたように薬品は「危険」である。そのため、安全に取り扱うこと、盗難防止や災害防止といった管理をすること、環境汚染防止や、輸出入管理などのためには様々な規制があり、薬品を使用する以上、これらの法規は確実に対応する必要がある。

大学で薬品を使用する上で、関係する法律、制度は以下の通りである。(括弧内は制定年)

- ・労働基準法(1947)
- ・農薬取締法(1948)
- ・消防法(1948)
- ・火薬類取締法(1950)
- ・建築基準法(1950)
- ・毒物及び劇物取締法(1950)
- ・高圧ガス保安法(1951)
- ・覚せい剤取締法(1951)
- ・麻薬及び向精神薬取締法(1953)
- ・酒税法(1953)
- ・あへん法(1954)
- ・大麻取締法(1954)
- ・薬事法(1960)
- ・水道法(1957)
- ・下水道法(1958)
- ・大気汚染防止法(1968)
- ・水質汚濁防止法(1970)
- ・廃棄物の処理及び清掃に関する法律(1970)
- ・労働安全衛生法(1971)
- ・悪臭防止法(1971)
- ・化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律(化審法)(1973)
- ・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

(化管法) (1999)

- ・ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法 (2001)

ここに記載した法規以外にも、様々な法規があり、また、地方ごとの条例など様々な規制がある。

化学物質に関する主要な法令や学内規程については、環境安全研究管理センターおよび安全衛生管理部のウェブページにまとめられているので参考にされたい。

<http://www.epc.osaka-u.ac.jp/yellow/Chemicals&Laws.htm>

<http://www.osaka-u.ac.jp/jp/facilities/anzen/>

以下に大学における薬品の使用で大きく関係する法令について概説する。

3-4-1. 労働安全衛生法

労働安全衛生法では、様々な規則が制定されており、その中で大きく関係する規則が「有機溶剤中毒予防規則(有機則)」と「特定化学物質等障害予防規則(特化則)」である。

● 有機溶剤中毒予防規則(有機則)

有機溶剤は常温では液体だが、揮発性が高く、ガス化することにより呼吸器から、また脂肪を溶かす性質を有することにより皮膚から吸収され、それが中枢神経系等へ作用することにより取り扱う労働者に対し、急性中毒その他健康障害を及ぼすことがある。この規則は、これら有機溶剤中毒を防止することを目的として制定された労働省令である。

本規則においては、

- ・作業場に溶剤蒸気を密閉する設備の設置
- ・有害性情報、有機溶剤区分の掲示
- ・定期的に有機溶剤濃度の測定、管理区分による評価
- ・定期的に医師による健康診断

などが義務付けられている。

特に頻度高く使用され、有機溶剤中毒予防規則において、規制の対象となる有機溶剤は以下の54種です。

毒性の強い順に第1種、第2種、第3種と分類されています。

表：有機溶剤一覧(有機溶剤中毒予防規則で定められたもの)

分類	物質名	沸点
第1種 有機溶剤	1, 2-ジクロロエチレン(別名二塩化アセチレン)	60℃
	二硫化炭素	46℃
第2種 有機溶剤	アセトン	56℃
	イソブチルアルコール	108℃
	イソプロピルアルコール	83℃
	イソペンチルアルコール(別名イソアミルアルコール)	132℃
	エチルエーテル	35℃
	エチレングリコールモノエチルエーテル(別名セロソルブ)	135℃
	エチレングリコールモノエチルエーテルアセテート(別名セロソル)	156℃
	エチレングリコールモノノルマル-ブチルエーテル(別名ブチル)	171℃
	エチレングリコールモノメチルエーテル(別名メチルセロソルブ)	125℃
	オルト-ジクロロベンゼン	180℃
	キシレン	138℃
	クレゾール	191℃
	クロロベンゼン	132℃
	酢酸イソブチル	118℃
	酢酸イソプロピル	89℃
	酢酸イソペンチル(別名酢酸イソアミル)	142℃
	酢酸エチル	77℃
	酢酸ノルマル-ブチル	126℃
	酢酸ノルマル-プロピル	102℃
	酢酸ノルマル-ペンチル(別名酢酸ノルマル-アミル)	149℃
	酢酸メチル	57℃
	シクロヘキサノール	161℃
	シクロヘキサノン	156℃
	N, N-ジメチルホルムアミド	153℃
	テトラヒドロフラン	66℃
	1, 1, 1-トリクロロエタン	74℃
	トルエン	111℃
	ノルマルヘキサン	69℃
	1-ブタノール	117℃
	2-ブタノール	100℃
メタノール	65℃	
メチルエチルケトン	80℃	
メチルシクロヘキサノール	174℃	
メチルシクロヘキサノン	163℃	
メチル-ノルマル-ブチルケトン	126℃	
第3種 有機溶剤	ガソリン	38 ~ 204℃
	コールタールナフサ(ソルベントナフサを含む。)	120 ~ 200℃
	石油エーテル	35 ~ 60℃
	石油ナフサ	30 ~ 170℃
	石油ベンジン	50 ~ 90℃
	テレピン油	149℃
	ミネラルスピリット(ミネラルシンナー、ペトロリウムスピリット、ホワイトスピリット及びミネラルターペンを含む。)	130 ~ 200℃

注：上記有機溶剤が5%を超えて含有されている物質も該当する。

● 特定化学物質障害予防規則(特化則)

特定化学物質とは、健康障害を発生させる物質として特定化学物質障害予防規則で定められた物質のことであり、微量の曝露でがん等の慢性・遅発性障害を引き起こす物質(第1類物質(特に有害性の高いもの)、第2類物質)と、大量漏洩により急性障害を引き起こす物質(第3類物質、第2類物質のうち特定第2類物質)とがある。さらに第1類物質と第2類物質のうち、がん原性物質またはその疑いのある物質については特別管理物質とし、名称、注意事項などの掲示や、作業環境測定結果、健康診断の記録等を30年間保存すること決められている。また、第2類物質のうち、特に漏洩に留意すべき物質を特定第2類物質、尿路系器官にがん等の腫瘍を発生するおそれのある物質をオーラミン等、それ以外を管理第2類物質と区分している。この規則は、これら特定化学物質による健康障害を予防することを目的として制定された労働省令である。

本規則においては、

- ・作業場にガス、蒸気若しくは粉じんを密閉する設備の設置
- ・有害性情報、取り扱い注意事項の掲示
- ・定期的に特化物濃度の測定、管理区分による評価
- ・定期的に医師による健康診断
- ・製造等禁止物質の製造、輸入の禁止、使用の許可

などが義務付けられている。

表：特定化学物質一覧(特定化学物質障害予防規則で定められたもの)

分類	物質名	区分	特別管理	備考
第1類物質	ジクロロベンジジン及びその塩		特管	
	α-ナフチルアミン及びその塩		特管	
	塩素化ビフェニル(別名PCB)			
	オルトトリジン及びその塩		特管	
	ジアニシジン及びその塩		特管	
	ベリリウム及びその化合物		特管	合金は含有重量3%以上
	ベンゾトリクロリド		特管	含有重量0.5%以上
第2類物質	アクリルアミド	特定		
	アクリロニトリル	特定		
	アルキル水銀化合物 アルキル水銀化合物(アルキル基がメチル基又はエチル基である物に限る)	管理		
	インジウム化合物	管理	特管	
	エチルベンゼン	特別有機溶媒等	特管	塗装業務のみ。有機則準用。
	エチレンイミン	特定	特管	
	エチレンオキシド	特定	特管	
	塩化ビニル	特定	特管	
	塩素	特定		
	オーラミン	オーミ等	特管	
	オルト-トルイジン	特定	特管	
	オルト-フタロジニトリル	管理		
	カドミウム及びその化合物	管理		
	クロム酸及びその塩	管理	特管	
	クロロホルム	特別有機溶媒等	特管	

第2類物質	クロロメチルメチルエーテル	特定	特管	
	五酸化バナジウム	管理		
	コバルト及びその無機化合物	管理	特管	触媒利用の場合を除く
	コールタール	管理	特管	含有重量5%以上
	酸化プロピレン	特定	特管	
	三酸化ニアンチモン	管理	特管	
	シアン化カリウム	管理		含有重量5%以上
	シアン化水素	特定		
	シアン化ナトリウム	管理		含有重量5%以上
	四塩化炭素	特別有機溶媒等	特管	
	1,4-ジオキサン	特別有機溶媒等	特管	
	1,2-ジクロロエタン(別名二塩化エチレン)	特別有機溶媒等	特管	
	3,3'-ジクロロ-4,4'-ジアミノジフェニルメタン	特定	特管	
	1,2-ジクロロプロパン	特別有機溶媒等	特管	
	ジクロロメタン(別名二塩化メチレン)	特別有機溶媒等	特管	
	ジメチル-2,2-ジクロロビニルホスフェイト(DDVP)	特定	特管	
	1,1-ジメチルヒドラジン	特定	特管	
	臭化メチル	特定		
	重クロム酸及びその塩	管理	特管	
	水銀及びその無機化合物(硫化水銀を除く)	管理		
	スチレン	特別有機溶媒等	特管	
	1,1,2,2-テトラクロロエタン(別名四塩化アセチレン)	特別有機溶媒等	特管	
	テトラクロロエチレン(別名パークロルエチレン)	特別有機溶媒等	特管	
	トリクロロエチレン	特別有機溶媒等	特管	
	トリレンジイソシアネート	特定		
	ナフタレン	特定	特管	
	ニッケル化合物(ニッケルカルボニルを除き、粉状の物に限る)	管理	特管	
	ニッケルカルボニル	特定	特管	
	ニトログリコール	管理		
	パラ-ジメチルアミノアゾベンゼン	特定	特管	
	パラ-ニトロクロルベンゼン	特定		含有重量5%以上
	砒素及びその化合物(アルシン及び砒化ガリウムを除く)	管理	特管	
	弗化水素	特定		含有重量5%以上
	ベータ-プロピオラクトン	特定	特管	
	ベンゼン	特定	特管	
	ペンタクロルフエノール(別名PCP)及びそのナトリウム塩	管理		
	ホルムアルデヒド	特定	特管	
	マゼンタ	オーミ等	特管	
	マンガン及びその化合物(塩基性酸化マンガンを除く)	管理		
	メチルイソブチルケトン	特別有機溶媒等	特管	
	沃化メチル	特定		
	リフラクトリーセラミックファイバー	管理	特管	
硫化水素	特定			
硫酸ジメチル	特定			
第3類物質	アンモニア			
	一酸化炭素			
	塩化水素			
	硝酸			
	二酸化硫黄			
	フェノール			含有重量5%以上
	ホスゲン			
	硫酸			

有機則に定められた有機溶剤(第1種、第2種、第3種)の取り扱いにはドラフトチャンバー内で行う必要がある。ドラフトチャンバーの制御風速(面風速)は、0.4m/sを出し得る能力を有するものと定められている。

同様に、特化則では、第1類、第2類に定められた物質の取り扱いをドラフトチャンバー内で行う必要があり、制御風速は、ガス状のとき0.5m/s、粒子状のとき1.0m/sと定められている。

この両規則に定められた、有機溶剤並びに特定化学物質を取り扱う場合は、必要な能力を持つ局所排気装置の設置について、所轄の労働基準監督署に届け出ることが義務付けられている。

3-4-2. 毒物及び劇物取締法(毒劇法)

毒物及び劇物取締法は、人体への有害性の高い化学物質について、特定毒物、毒物及び劇物のランク分けをし、保健衛生上の見地から必要な取締を行うことを目的とした法律である。

参考：<http://www.osaka-u.ac.jp/jp/facilities/anzen/gakunai/guidelines/manual/poison.pdf>

毒物劇物一覧表 (<http://www.epc.osaka-u.ac.jp/yellow/dokudoku.htm>)

保管や使用に関する規制は3-1-4と3-2-4で述べた通りであり、厳重な管理が要求され、多大な責任が伴う化学物質である。この取締法では、

- ・ 使用者の保管管理の責任(第11条)及び表示(第12条)について
 - ・・・ 鍵、盗難紛失防止、漏れしみ出し防止対策の実施
 - ・・・ 該当品目の表示、在庫管理の義務
- ・ 廃棄(第15条の2)について
 - ・・・ 廃棄する場合は技術上の基準に従わなければならない
 - 中和、分解、酸化、稀釈等により、毒劇物に該当しない物とすること
- ・ 事故時の措置(第16条の2)について
 - ・・・ 飛散、しみだしの場合の措置(→保健所、警察、消防署への連絡等)
 - ・・・ 盗難、紛失(→警察への連絡等)

についてまとめられている。

この取締法で扱われる「特定毒物」、「毒物」、「劇物」は以下のように定義される。

特定毒物	毒物中、特に経皮毒性の強いもの
毒物	体重1kg当り経口致死量30mg以下
劇物	体重1kg当り経口致死量30～300mg

この定義に当てはまる物質のうち、流通量や使用量等、保健衛生上取締が必要と考えられる物質について、対象物質と指定される。

3-4-3. 消防法

消防法は、火災の予防、警戒及び鎮圧をすることで、火災や地震等の災害に因る

被害の軽減を目的として制定された法律である。特に「危険物」として扱われる化学物質はこの消防法に該当する物質が対象であり、「火災発生の危険性がある物質」、「火災拡大の危険性がある物質」、「火災時に消化困難な物質」について、保管方法、保管量の上限等について定めたものである。分類、保管の方法、量の上限等については3-1-3項で述べた通りである。

3-4-4. PRTR 制度

PRTR制度は、Pollutant Release Transfer Register（化学物質排出移動量届出制度）のことであり、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（化管法）によって定められた制度のひとつで、有害性のある多種多様な環境汚染物質が、どのような発生源から、どれくらい環境中に排出されたか、あるいは廃棄物に含まれて事業所の外に運び出されたかというデータを把握し、集計し、公表する仕組みである。このデータの把握、集計、公表によって、化学物質を取り扱う事業者の自主的な化学物質の管理の改善を促進し、化学物質による環境の保全上の支障が生ずることを未然に防止することを目的として制定されたものである。

対象となる化学物質は、人の健康や生態系に有害なおそれがあるなどの性状を有するもので、環境中にどれくらい存在しているかによって「第一種指定化学物質」と「第二種指定化学物質」の2つに区分されている。このうちPRTR制度の対象となるのは、「第一種指定化学物質」の462物質であり、この対象物質を指定量以上、取り扱う場合、年単位で集計した結果を国に報告することが義務付けられている。

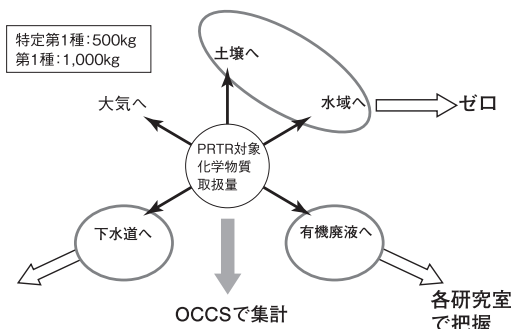
大阪大学でも、PRTR制度の対象となる物質の中で、ヘキサン、クロロホルム、ジクロロメタン、アセトニトリル、トルエンなどを多量に使用しており、毎年、集計結果を府を通じて、国に報告している。

PRTR制度に準じた制度が都道府県単位で定められていることも多く、大阪府では「大阪府生活環境の保全等に関する条例(大阪府条例)」において、さらに独自の指定物質を指定しており、これら独自物質についてもPRTR制度と同じ対応が必要となる。また、その他に「揮発性有機化合物(VOC：沸点が150℃以下の有機化合物)」についても総量の報告を義務付けている。

● 大阪大学におけるPRTR 法及び大阪府条例対象物質の集計方法

PRTR制度や大阪府条例の対象となる物質においては、「環境中にどれだけ排出されたか」、「学外にどれだけ移動したか」を報告する必要がある。

大阪大学では、取扱量の多いと予想される物質を薬品管理支援システム(OCCS)で絞り込み、それらの物質について、毎年、各研究室に調査を依頼し、詳細な集計データを取りま



とめている。各研究室に提出依頼するデータは、

- ・年度初めの在庫量 A (kg)
- ・年度中の購入量 B (kg)
- ・年度末の在庫量 C (kg)
- ・廃棄物への移動量 D (kg)

の4種であり、取扱量(A+B-C)が各キャンパスの合計で1トン(特定第一種指定化学物質に指定されるものは500kg)を超える物質について、大阪府へ届け出ている。

(<http://www.epc.osaka-u.ac.jp/PRTR.htm>)

大阪大学におけるPRTR、大阪府条例に該当する物質の年間集計の報告書様式

各研究室から提出する PRTR 報告書								
講座等名		研究科:			専攻:		研究室:	
担当者名:		OCCS グループ ID:						
内線:								
メールアドレス:								
政令 番号	化学物質の名称	A	B	C	D	E	取扱量 A+B-C (kg)	備考 (d:比重/ml)
		H20年4月1日 現在の在庫量 (kg)	H20年度中の 購入量(kg)	H21年3月31日 現在の在庫量 (kg)	H20年度中の 廃棄物への 移動量 (kg)	環境への最大潜 在排出量 E=A+B-C-D (kg)		
12	アセトニトリル							d=0.786
42	エチレンオキシド							
63	キシレン							d=0.86
66	グルタルアルデヒド(100%の値)							
95	クロロホルム							d=1.492
145	ジクロロメタン(塩化メチレン)							d=1.325
227	トルエン							d=0.865
283	フッ化水素及びその水溶性塩 (Fに換算、100%の値)							
299	ベンゼン							d=0.874
310	ホルムアルデヒド(100%の値)							
府29	ヘキサン							
府30	メタノール(メチルアルコール)							

3-4-5. 麻薬及び向精神薬取締法、覚せい剤取締法

麻薬及び向精神薬取締法、覚せい剤取締法は麻薬と向精神薬、及び覚せい剤、覚せい剤原料に関して、輸出入、製造、製剤、譲渡、使用に関して取り締まった法令である。麻薬、向精神薬、及び覚せい剤、覚せい剤原料は麻酔用途を始めとして、研究では使用することがあるが、これらの物質は社会的にも影響の大きい物質であることは言うまでもなく、管理責任、厳重な管理については法規を確実に遵守する必要がある。

大学の研究であって、安易に使うことは許されず、全てにおいて、免許、登録が必要であり、行政の許可がないと購入、保管することもできない。未許可のままの所持・使用は明確な違法である。具体的に必要な免許等は以下の通りである。

- ・麻薬：個人免許が必要
- ・覚せい剤：個人免許が必要

- ・覚せい剤原料：個人免許が必要
- ・向精神薬：試験研究施設登録 申請は部局ごと

これらの免許、届出をした上で、「保管管理の徹底」、「購入、譲渡、譲与履歴の保管、管理」、「帳簿作成の徹底」等が義務付けられる。

事例：麻薬指定物質の追加とそれによるトラブル

麻薬及び向精神薬取締法で対象となる物質は更新、追加される。この追加について、情報を把握しておかないと大きなトラブルが起こりえる。実際に阪大でもこれまでに多くのトラブルが発生してしまった。

事例として、ケタミン(ケタラール)という麻酔薬として使用されていた物質は2007年に法改正で「麻薬」となった。それまでは麻薬指定ではなく、免許、届出等なく購入し、使用することができた。しかし、法改正後は購入には免許が必要であり、保管管理するためにも免許が必要となった。

しかし、ケタミンが麻薬指定になったという情報が入手できなかった(入手しようとしなかった)場合や、そもそもケタミンが自分の研究室にあることを把握していなかった場合には、2007年以降に免許を持っていないのにケタミンが研究室に保管されている状況が発覚することになり、俗に「沸きだし」とされ、明確な法令違反として罰されることになる。実際にこの事案で大阪大学は数件の沸きだしが起こってしまい、行政から処分を受けることになってしまった。

ケタミンに限らず、こういった事例は管理が不行き届き、特に、保管している薬品の把握を怠ってしまうと非常に起きやすい事例である。追加の情報のフォローを行うこと、そして自身の保持している薬品を適正に管理しておくことは必須である。

4. 緊急時、トラブルの対応について

これまでに述べたように、危険な薬品を取り扱うには保管から廃棄に至るまで、十分な注意とルールへの遵守が必須である。しかし、取り扱う以上、事故の危険とは隣り合わせであり、ほんの少しでも間違えてしまえば事故は容易に起きてしまう。

そういった事故を起こさないように対処することが第一であるが、もしも起きてしまったための対処方法、備えの準備をしておくことも非常に重要である。

4-1. 応急処置法について

事故が起きてしまった場合、原因となった薬品によって症状は様々であり、それによって対処法が変わることは言うまでもない。

大きく分けて「人体に影響が及ぶ場合(誤飲、皮膚接触等)」、「火災が起きてしまった場合」、「漏洩してしまった場合」に分けられるが、それぞれについて物質ごとに対処法を知っておかなければならない。

化学物質等安全データシートには、これらの対処法について記載されている。具体的には、以下のような詳細が記載されている。

- ・人体への吸入、接触があった場合について

- ・・・吸入した場合
- ・・・皮膚に付着した場合
- ・・・目に入った場合
- ・・・飲み込んだ場合
- ・火災時の措置について
 - ・・・使用できる消火剤
 - ・・・使ってはならない消火剤
 - ・・・特有の消火方
- ・漏出時の措置について
 - ・・・人体に対する注意事項
 - ・・・保護具及び緊急時措置
 - ・・・環境に対する注意事項
 - ・・・二次災害の防止策

ここで記載のあった方法の熟知、そして周知が重要である。周知のためには構成員への教育はもちろんのこと、緊急時に連絡が正確に速やかにできるように緊急連絡網などを整備し、見やすい場所に掲示するなどの対応は必須である。

また、対処時に必要な物品類はできるだけ整備し、使用できる状態にしておくことが重要である。

4-2. 緊急シャワー・アイシャワー

薬品との接触があった場合には速やかに薬品を洗い流すための設備が必要になる。そのための設備として、建物の階ごとに準備されているのが緊急シャワーであり、特に目に薬品が付着してしまった場合には速やかに水での洗浄が不可欠であるため、各研究室単位でアイシャワーの整備をしておくことも検討してほしい。

- 事故の際に、すぐに緊急シャワー・アイシャワーを使用できるように設置場所等を確認しておくこと。設置場所を学生などの実験者に周知しておくこと
- 皮膚や眼に付着した場合、すばやく大量の水で洗うこと。特にアルカリは眼球を腐食させるので、15分以上十分に水洗いしたのち、医療機関を受診すること
- 眼の洗浄には中和剤を用いないこと。洗眼にアイシャワーがない場合は、清潔な水をオーバーフローさせた洗面器に顔を反復して入れ洗顔するとよい。また、蛇口につないだゴム管からのゆるやかな流水を用いても問題ない。



洗眼器の例



- 緊急シャワーの下部に、決して物品などを置かないこと
- 器具等が破損、故障していないか定期的に確認すること。特にアイシャワーは噴出部がつまりやすいので定期的使用可能であることを確認すること



5. 薬品管理支援システム OCCSについて

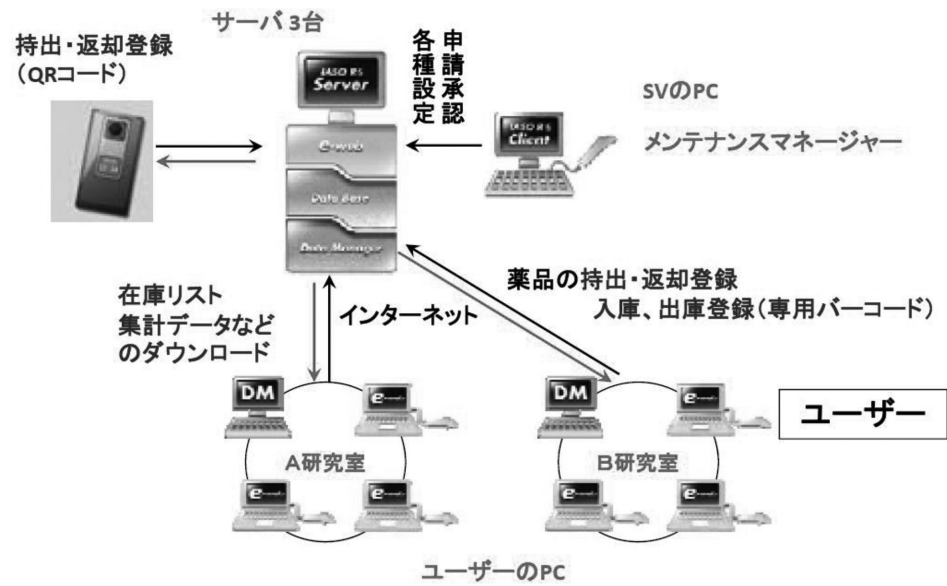
大阪大学では「大阪大学薬品管理支援システム」(OCCS)を運用しており、薬品類の購入、使用から廃棄に至るまで集中的に管理している。阪大で薬品を使用する場合、原則として本システムを使用し、薬品の管理を行わなければならない。

薬品管理システムはコンピュータを用いて、各研究室における薬品の購入、保管、使用、廃棄までの全体の流れを管理することができるシステムである。このシステムを使用することで、在庫管理、使用量管理を保管場所、使用場所等の情報を付加した上で記録、管理できる。在庫量や使用量の管理が簡易に行えることで、複数の法令対応管理も行えることにつながり、薬品の適正管理を行えることになる。

また、全学的に同一のシステムを使用することで、各研究室だけでなく、全学単位や、キャンパス単位、建物単位等での薬品の動きを統括的に管理できるため、緊急事態が起きた際の全学規模の動きや、全学規模の法令対応にも速やかに対応することができる(3-4-4に述べたようなPRTR制度の対応など)。

薬品には法規制が存在し、しかもひとつの薬品に複数の法令が該当することがほとんどであり、法令によって管理の仕方が異なる。大学では少量多種の薬品を保管しており、それぞれに対して、複数の法令管理を行うことは極めて複雑であり、これを回避するためにも適正な保管管理と簡易な法令対応管理を可能にする薬品管理システムによる運用は必須と言える。

OCCSは、吹田キャンパス内に大本となる管理サーバーが設置されており、各研究



室からはWebを経由して、サーバーに接続し、システムのソフトをWeb上で使用することができるようになっている。

OCCSのサポートサイト(<http://support.epc.osaka-u.ac.jp/occs/>)には操作方法のマニュアルに加えて、運用のルール、問い合わせ先など、活用に際しての資料が取りまとめられている。使用前に一読願いたい。

IV. 生物実験の安全のために

IV. 生物実験の安全のために

1. はじめに

生物実験は、生物学的材料(病原体、組換えDNA体、細胞、動物等)を用いた実験のことである。生物実験においては、実験器具や薬品等は当然使用するものである。第II章、III章も十分に確認の上で実験を行う必要がある。それに加えて、生物実験ではこの実験に特有な生物学的材料を使用することになる。

この章で主に取り扱う生物学的材料は、学内で多用される以下の材料である。

- ・病原体、病原微生物(ウイルス、細菌等)
- ・遺伝子組み換え生物
- ・実験動物

これらは人体への侵入が起これば、感染症や、中毒症などのバイオハザードの危険を有しており、その防止には十分注意を払わなければならない。

このため、近年、生物実験を進めるに当たっては、バイオセーフティの徹底が必須の命題とされており、法律等によっても厳しく規制されている。

大阪大学では各種のガイドライン、規程、指針等を整備している。該当する実験は、いずれも計画段階で、これらの諸規定に沿って行うことを確認し、担当委員会等の承認を得てから行う必要がある。

これらの取り扱い、注意事項について、以下に解説する。

2. 生物学的材料について

2-1. 病原体、病原微生物(ウイルス、細菌等)について

病原体とは、病気を引き起こす微生物などを指し、ウイルスや細菌のようなものも含む。病原体によって起こされる病気のことを感染症といい、感染症法によって分類や、規制等が定められている。

病原微生物の危険度は、その人体に対する病原性の程度によってバイオセーフティレベル(BSL1からBSL4)に分類されている。それぞれの危険度分類に対応して病原微生物を取り扱う実験機器・設備、実験室の機能と構造及び運営については、厚生労働省令で定められており、大阪大学の規程(大阪大学病原体等安全管理規程)にも示されている。この他、世界保健機構(WHO)、米国疾病予防センター(CDC)あるいはわが国の国立感染症研究所や関連学会から公表されているものが参考になる。

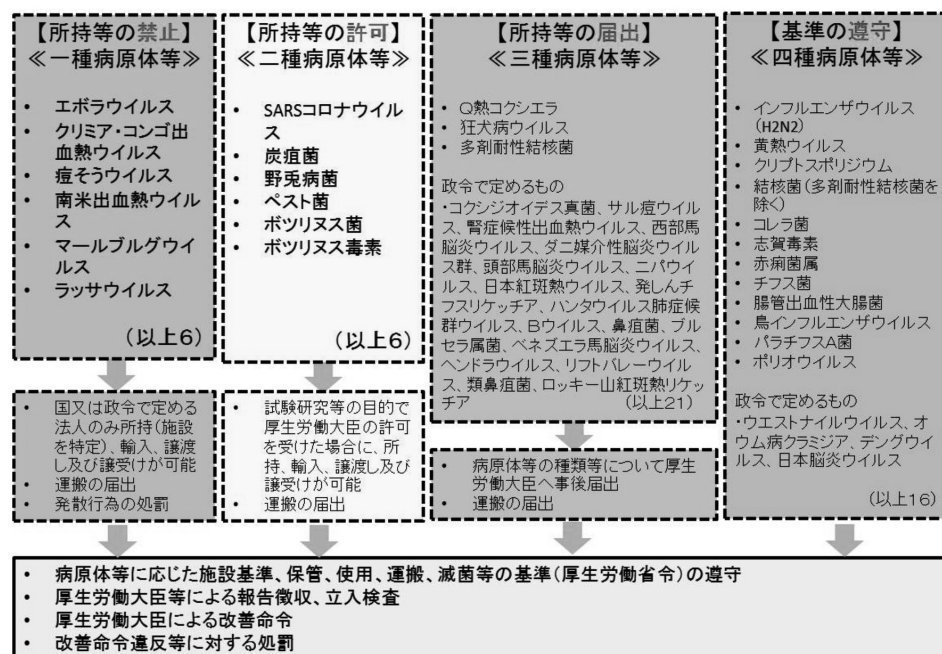
病原微生物の取り扱いについて、わが国では法的規制(「感染症法」、「家畜伝染病予防法」)が定められており、本学においてはこれらの法律に基づいた大阪大学病原体等安全管理規定が定められている。

また、特に注意を要する病原体は、一～四種病原体に分けられ、それぞれの保管、使用の基準、滅菌等の基準が設けられ、取り扱いばかりではなく、所持者の義務等において、所持の届け出、運搬の際の届け出等もこれらの法律により規制されている。実験を行うにあたっては、これらの法律・規定に従い、さらに各部局の委員会の指示を受け実施することになる。

Topics : 感染症法における病原体の分類について

感染症の病原体及び毒素は、一種病原体等から四種病原体等までの特定病原体等と、特定病原体等に該当しない病原体(国民の健康に影響を与えるおそれがあるとはいえない病原体)等に分類される。

- ・ 一種病原体等：国民の生命及び健康に極めて重大な影響を与えるおそれがある病原体等。特定一種病原体等を除き、一切の所持が禁じられる。特定一種病原体等：試験研究が必要な一種病原体等として政令で定めるもの
- ・ 二種病原体等：国民の生命及び健康に重大な影響を与えるおそれがある病原体等
- ・ 三種病原体等：国民の生命及び健康に影響を与えるおそれがある病原体等
- ・ 四種病原体等：国民の健康に影響を与えるおそれがある病原体等



図：病原体の分類例とそれぞれの種別に応じた届出、対応例

実験者は病原体の性質・病原性と、実験機器・設備、実験室の機能と限界を熟知して実験を行わなければならない。病原微生物を取り扱う実験は複数の実験者で行うようにし、特に初心者は熟達した経験者と一緒に行うことが望まれる。これは、いかに手術技術書を精読しても初心者が人体にメスを加えることはできないのと同様である。

病原性の低い微生物を取り扱う場合でも、実験操作の種類によっては実験者や他に危険を伴う場合がある。例えば、開放された環境で大量の大腸菌体を超音波破壊装置を用いて破壊した場合、室内に抗原物質(菌体成分)を含むエアロゾルが飛散する可能性があり、その結果、実験者がこれを吸入すれば感作されアレルギー反応を起こす危険性がある。結核菌既感染者(ツベルクリン反応陽性者)が結核菌体をオートクレーブで滅菌し開扉の際その蒸気を吸入したために、アレルギー反応によって肺炎を起こして発熱する症例も、バイオハザードの典型的な事例として取り上げられている。

感染した動物の臓器のホモジュネートを作成する場合を含めて、多量のエアロゾルが発生する実験操作は、安全キャビネット等の閉鎖空間で行う必要がある。病原体あるいは、その毒性代謝産物の人体への侵入経路は、経気道、経口、さらには経皮膚等があげられる。生物系実験の場合、このような微生物、物質との接触、体内への侵入を防止することが基本となることを銘記する必要がある。

2-2. 遺伝子組み換え生物について

遺伝子組換え生物(Genetically modified organism, GMO)とは、遺伝子が操作された生物を指す。一般には組換えDNA 技術を用い、DNA 分子に別の種類の遺伝子を組み込み、本来その生物が持っていない別の種の遺伝子を導入させた生物を遺伝子組換え生物という。

遺伝子組換え生物には、遺伝子組換え微生物、遺伝子組換え動物、遺伝子組み換え植物などがあり、広範囲において、様々な研究がされている。遺伝子組換え技術は急速に進歩し、現在では医薬品の原料を産生する微生物や収量の多い農作物などが実用化されている。しかし、組換え微生物が新たな病原性を持ったり、組換え植物が自然環境を破壊する可能性もある。このため、これらのバイオハザードの懸念から、遺伝子組換え実験には厳しい規制がされており、「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律(カルタヘナ法)」によって、罰則のついた法的な規制が敷かれている。

大阪大学では遺伝子組換え実験を安全に実施するために「大阪大学遺伝子組換え実験安全管理規程」と「大阪大学遺伝子組換え実施規則」を定めている。これらの法律や規則を遵守することが求められる。

具体的説明も含めた教育訓練用資料として「遺伝子組換え実験安全の手引き」が阪大のホームページからも取得できるようになっている。本章においては、取り扱いの注意事項を含め、概要を載せるので、詳細な取り扱い、ルール、届出等に関しては、必ず「遺伝子組換え実験安全の手引き」を読んでほしい。大阪大学の規程と規則、マニュアル、手引きは大阪大学ホームページ「教育・研究活動」の「研究に関する各委員会等」の「大阪大学遺伝子組換え実験安全委員会」のページに掲載されている。

すべての遺伝子組換え実験は、あらかじめ実験計画を大阪大学遺伝子組換え実験安全委員会に申請し承認を得なければならない。さらに一部の遺伝子組換え実験は、大阪大学の委員会の承認を経て、文部科学大臣による確認が必要となる。

トランスジェニック、ノックアウト動物・植物や遺伝子組換え微生物(ウイルスを含む)を作成する実験はもとより、他の研究機関から譲渡された遺伝子組み換え生物を用いる実験も、遺伝子組換え実験にあたる。遺伝子組換え生物が実験室から外に出しまうと交配等により自然の生態系を乱す可能性があるため、「拡散防止措置」が確保された実験室でのみ実験が許可される。組換え実験の危険度(Topics: 遺伝子組み換え生物のクラス分けに後述)に応じた「拡散防止措置」(「3. 実験施設、設備について」に後述)を実施し、実験終了後は組換え生物をオートクレーブ(高圧蒸気滅菌器)等によって死滅させた後に廃棄する必要がある。さらに吹田地区では「吹田市遺伝子組換

え施設に係る環境安全の確保に関する条例」に従い、実施場所の査察を受けなければならないので、こうした規定も良く理解することが大事である。

遺伝子組換えは急速に進展している分野であるので、常に最新の情報を入手し、適正に実験を行うことが求められる。

近年、遺伝子組み換え実験でよく誤解されるのが、組み換え体である細胞を実験動物に接種、移植する実験に関してである。細胞自体は自立性がないので、組み換え体とはされないが、それを実験動物に接種、移植した場合はその実験動物は組み換え体として扱わねばならない。

Topics : 遺伝子組み換え生物のクラス分け

安全に組換え生物を使用するために、カルタヘナ法では、組換え生物を環境に放出して使う第一種使用と、拡散防止措置を執った作業区域(実験室)内で使う第二種使用にわけて規制している。

■第一種使用：

組換え植物の畑での栽培や、組換えウイルスを生ワクチンとして使う場合の使用を指す。使用に先立って、環境への悪影響が回避できることを説明した生物多様性評価書を主務大臣に提出し、承認を得なければならない。組み換え生物を輸出して、第一種使用を目的とする場合は、相手国の承認も必要となる。

■第二種使用：

実験開発段階での使用(文部科学省が担当)と産業での使用(農水、厚労省等が使用目的別に担当)に分かれる。大学での使用は主にこの第二種使用の実験開発段階での使用になる。

実験開発段階での使用では、組換え生物の病原性に応じて、4段階の拡散防止措置(P1からP4)が決められている。P1は理科の実験室の出入り口と窓を閉めた状態に近く、P2は安全キャビネットや高圧蒸気滅菌器の設置、P3は実験室の入り口に前室を設置し、実験室内を陰圧に保つ構造、など、詳細な基準が求められている(詳細は「3. 実験施設、設備について」に後述)。

文部科学省では、以下の表のように取り扱う遺伝子組み換え生物のクラスを有害性によって1～4の段階で分けており、それぞれ、P1、P2、P3、P4の拡散防止措置を執るよう求めている。

表：カルタヘナ法における遺伝子組み換え生物の実験分類(研究開発二種省令)

クラス	概要
クラス1	微生物、きのこ類及び寄生虫のうち、哺乳綱及び鳥綱に属する動物(ヒトを含む。以下「哺乳動物等」)に対する病原性がないものであって、文部科学大臣が定めるもの並びに動物(ヒトを含み寄生虫を除く)及び植物
クラス2	微生物、きのこ類及び寄生虫のうち、哺乳動物等に対する病原性が低いものであって、文部科学大臣が定めるもの
クラス3	微生物、きのこ類及び寄生虫のうち、哺乳動物等に対する病原性が高く、かつ伝搬性が低いものであって、文部科学大臣が定めるもの
クラス4	微生物のうち、哺乳動物等に対する病原性が高く、かつ伝搬性が高いものであって、文部科学大臣が定めるもの

それぞれのクラスに該当する微生物等はカルタヘナ法の「研究開発二種省令」に定められている。

表：カルタヘナ法における遺伝子組み換え生物の実験分類の例

		クラス1	クラス2	クラス3	クラス4
病原性		なし	低	高	高
伝播性		—	—	低	高
微生物	真原核生物及び菌	病原性がないもの	Actinomycesbovis, Bacillus cereus, Mycobacteriumfortuitum など	Salmonella typhi, Bacillus anthracis, Coxiellaburnetii など	規定なし
	ウイルス及びウイロイド	Avian astrovirus, Fish virus, Plant virus など	Akabanevirus, Avian pox virus, Ibaraki virus など	HIV, SARS coronavirus, West Nile virus など	Cote d'Ivoire Ebola virus, Lassa virus, Marburg virus など
	原虫	病原性がないもの	Babesiabovis, Eimeriacervulina, Nosemaapis など	規定なし	規定なし
寄生虫		病原性がないもの	Acarapiswoodi, Distyocaulusviviparus, Fasciolahepatica など	なし	なし
動物(含ヒト、除寄生虫)		全てクラス1	なし	なし	なし
植物		全てクラス1	なし	なし	なし

動物、植物はその種類に限らずクラス1となり、実験はP1の拡散防止措置において行うことになるが、動物を使用し、微生物等を投与する場合、投与する微生物等の種類、あるいは、投与によって動物等に対する病原性又は伝達性に関係する場合などもあるため、クラス1の扱いにならない場合が多いので注意が必要である。

2-3. 実験動物について

実験動物とは、試験・研究、教育、生物学的製剤の製造、その他科学上の使用のために使用される動物のことであり、マウス、ラット、ハムスター、モルモット、ウサギ、イヌ、ネコ、サル類(マーモセット、アカゲザル、カニクイザルなど)、ウシ、トリ類(ニワトリ、ウズラなど)、ツメガエル、メダカ、ショウジョウバエなど多岐に渡り、実験の目的・用途により使い分けられている。

“動物実験を行う場合の実験動物への対応は、科学的かつ倫理的でなければならない。科学的とは、動物自身並びに動物のおかれる環境をできるだけ明瞭かつ一定に保ち、それによって実験結果の再現性を図ることであり、倫理的とは、人の踏むべき道はずさないこと、動物についていうなら、動物愛護、虐待防止といったことを意味する。科学的であるためには、しばしば“やむを得ず”動物に苦痛を与えることがある。倫理的であるためには、動物にできるだけ苦痛を与えないようにしなければならない。このような両立し難い両面を、いかにして結びつけ、両立させるかが重要なことである。”

この基準は平成18年に「動物の愛護及び管理に関する法律(動愛法)」が改正施行

された事に伴い「実験動物の飼養及び保管並びに苦痛軽減に関する基準」として大幅に改正されたものであり、厳格な法規制の下、動物愛護・福祉の思想に立脚した飼育および実験の実施が要求されている。

また各省庁、日本学術会議は動物実験の基本指針等を示している。これらの規定等では以下のような項目が強調されている。

1. 動物実験等における3Rsの実践

動物実験の3RsとはReduction（削減）、Replacement（置き換え）、Refinement（苦痛軽減）の頭文字から言われる国際的な実験動物福祉の考え方である。

2. 動物実験は研究機関の長が責任をもつこと

動物実験は科学的活動の一部であるので法的規制には馴染まないため、研究機関の長の責任において自主規制で行うことが望ましいとされた。

3. 実験動物の飼養及び保管ならびに苦痛軽減の基準の強化

実験動物の飼養保管苦痛軽減は法的な規制を受けるとして、基準の名称に“苦痛軽減”を追加するなどして、規制が強化された。

4. 動物由来感染症に関する特別な注意

昨今の新興再興感染症の流行を勘案して、動物由来感染症（人獣共通感染症）に関して教育訓練などを行い、特別な注意を払う規定が追加された。

さらに動物愛護法は平成24年に改正され、“何人も、動物を取り扱う場合には、その飼養又は保管の目的の達成に支障を及ぼさない範囲で、適切な給餌及び給水、必要な健康の管理並びにその動物の種類、習性等を考慮した飼養又は保管を行うための環境の確保を行わなければならない。”という一項が追加された。これは実験動物においても給餌給水を怠ることは動物愛護法違反となり罰せられる可能性を意味する。このため実験動物の飼育並びに動物実験に関しては、こうした法律等に基づいて一層厳格に行う必要がある。

このように、わが国には実験動物、あるいは動物実験に関する種々の規定があり、また、大阪大学でも平成19年に大阪大学動物実験規程を定めており、それに従うのは科学者としての基本的態度の一つである。従って、「3-3項：実験動物の一般的な取り扱い」に示す具体的な動物実験を行う上での注意もさることながら、参考文献に示したこれらの規定をよく理解して、動物実験を行うことが重要である。

3. 生物学的材料の一般的な取り扱いについて

これまでに述べたように生物実験を行うためには、バイオハザードの危険が伴い、取り扱いを間違えると甚大な事故につながる。法的な扱いや社会的な要請などは前述の通りであるが、本項ではそれら生物学的材料を取り扱うための一般的な諸注意について概説する。本項においても詳細な注意事項については、各生物材にそれぞれ定められている規制や、マニュアルも参考にしてほしい。

3-1. 実験施設、設備について

生物実験を行うためにはバイオハザードを起こさないために、専用の実験室が必要となる。それぞれの物質によって危険等級、危険クラスが定められており、それに応じた拡散防止措置が行える施設、実験室や、適切な廃棄方法等を行うための設備等が必要要件として明確に定められており、これらを満たした実験室でのみ実験を行うことができる。

バイオハザードを防止するために施される拡散防止措置を封じ込めと呼び、特に、漏洩を物理的に防ぐことを物理的封じ込めという。具体的には、差圧の確保や滅菌器の設置、更衣、手洗い、マスクの着用などの対策であり、取り扱う生物によって、管理等級が定められ、推奨事項の履行の検討、実験室の設計、従業員に作業・運営に関する教育を行う必要がある。

物理的封じ込めには、以下のような種類とそれぞれの等級がある。

■ バイオセーフティレベル：

等級：BSL1 ～ BSL4（危険性：BSL1 < BSL4）

世界保健機関（WHO）が制定した実験室生物安全指針に基づいた4段階のリスクグループ分類に応じた取り扱いレベル

■ 特定病原体：

等級：四種病原体等取扱施設～一種病原体等取扱施設（危険性：四種 < 一種）

感染症法の特定病原体の分類に応じた施設等級

■ 遺伝子組み換え微生物

等級：P1 ～ P4（危険性：P1 < P4）

微生物を扱う実験の危険度に応じて、整えるべき実験施設のレベル等級

※ P は Physical containment の略

■ 遺伝子組み換え微生物 大量培養：

等級：LSC、LS1、LS2（危険性：LSC < LS1 < LS2）

大量培養を行う場合の実験施設のレベル等級

■ 遺伝子組み換え動物：特定飼育区画

等級：P1A ～ P3A（危険性：P1A < P3A）

遺伝子組み換え動物を扱う場合の実験施設のレベル等級

■ 遺伝子組み換え植物：特定網室

等級：P1P ～ P3P（危険性：P1P < P3P）

遺伝子組み換え植物を扱う場合の実験施設のレベル等級

それぞれの等級ごとに封じ込めの方法、基準が定められており、用いる生物材料によって、封じ込めの方法が異なる。

昨今では、BSLの基準を最も使用することが多い。BSLについての概要とそれに応じた施設要件について説明する。

バイオセーフティレベル（BSL）とは、微生物や病原体等を取り扱う実験室・施設の

格付けを行ったものであり、レベルに応じた施設要件が定められている。

BSL レベル	施設要件
1	<ul style="list-style-type: none"> ・通常の微生物実験室。特別に隔離されている必要なし ・実験室は飲食・喫煙禁止 ・オートクレーブの設置が必要(実験室内にある必要はない) ・取り扱い者は病原体取り扱い訓練を受けること
2	<p>(レベル1に加えて)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実験室の扉にはバイオハザードの警告を表示 ・許可された人物のみが入室可 ・実験中は窓・扉を閉め、施錠 ・実験室内にオートクレーブの設置が必要 ・生物学用安全キャビネット(クラスIIA以上)の設置し、基本は其中で作業すること(エアロゾルが発生しない作業はキャビネット外でも可)。 ・実験者は、作業着または白衣を着用
3	<p>(レベル2に加えて)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・廊下の立ち入り制限 ・白衣などに着替えるための前室の設置が必要。そのとき前後のドアは同時に開かないこと ・壁・床・天井・作業台などの表面は消毒・洗浄可能なこと ・排気系を調節し、常に外部から実験室内に空気を流入させること ・実験室からの排気は、高性能フィルターを通し除菌した上で大気に放出すること ・実験は生物学用安全キャビネットの中で行うこと ・動物実験は生物学用安全キャビネットの中もしくは陰圧アインレーターの中で行うこと ・作業員名簿に記載された者以外の立ち入りは禁止
4	<p>(レベル3に加えて)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・クラスIII安全キャビネットを使用すること。 ・通り抜け式オートクレーブを設置すること ・シャワー室を設置すること ・実験室からの排気は高性能フィルターで2段浄化すること ・防護服未着用での入室禁止 <p>BSL4は最高度安全実験施設である。実験室は他の施設から完全に隔離される。 このレベルの実験室は国内では国立感染症研究所と理化学研究所にのみ設置されている。</p>

このBSLのレベルに応じたものとして、「リスクグループ」がある。これは、世界保健機関(WHO)が制定した実験室生物安全指針に基づいて、各国で定められた病原体の危険性に応じた4段階の取扱レベルのことである。世界保健機関のリスクグループの設定基準に準じて、日本では、感染症法で特定病原体等が指定され、国立感染症研究所や日本細菌学会の規程・指針などで、種々のバイオハザード物質について、リスクグループを策定している。

リスクグループは以下のように定められ、微生物・病原体等は、その危険性に応じて、次の4段階のリスクグループに分類される。

リスク G	分類基準	分類例
1	ヒトあるいは動物に疾患を起こす可能性の無い微生物。	生ワクチンウイルス(ワクシニアと牛疫ワクチン株を除く)、レベル2およびレベル3に属さない細菌類
2	ヒトあるいは動物に疾患を起こすが、実験者、地域、家畜、環境にとって重大な災害となる可能性のない病原体。実験室で重篤感染しても有効な治療法や予防法があり、感染が拡散するリスクは限られる。	ワクシニアウイルス、インフルエンザウイルス、ブドウ球菌、サルモネラなど
3	通常、ヒトあるいは動物に重篤な疾患を起こすが、通常の条件下では感染は起こらない病原体。有効な治療法や予防法がある。	A型インフルエンザウイルス強毒株(H5N1、H7N7亜型)、ヒト免疫不全ウイルス、炭疽菌、ペスト菌、黄熱ウイルス・狂犬病ウイルスなど
4	通常、ヒトあるいは動物に重篤な疾患を起こし、容易に感染が起こる病原体。有効な治療法・予防法がない。	エボラウイルス、マールブルグウイルス、天然痘ウイルスなど

BSLはこのリスクグループに対応している。例えばリスクグループ3の病原体は、BSL3以上の実験室で扱う必要がある。

同様に、遺伝子組み換え微生物の等級Pにおける施設の基準は以下のようになっている。

P レベル	施設等	その他
1	・通常の生物の実験室等	<ul style="list-style-type: none"> ・遺伝子組換え生物等が漏出しない構造の容器に入れること ・遺伝子組換え生物の不活化 ・実験室の扉、窓等の封鎖 ・エアロゾルの発生を最小限にとどめること ・遺伝子組換え生物の付着・感染防止のための手洗い ・関係者以外の者の入室制限
2	(P1に加えて) ・原則として安全キャビネットを設置し、キャビネット内で操作 ・実験室のある建物内にオートクレーブを設置	・「P2レベル実験中」の表示
3	(P2に加えて) ・前室を設置し、前室の前後の扉を同時に開けないこと ・床などの表面は容易に水洗・燻蒸が可能な構造 ・足等でまたは自動で操作可能な手洗い設備 ・給排気設備 ・排気は、原則として実験室・建物内の他の部屋に再循環されないこと ・排水は遺伝子組換え生物の不活化後に排出できる設計 ・原則として、安全キャビネットを設置し、キャビネット内で操作 ・実験室内にオートクレーブを設置	<ul style="list-style-type: none"> ・専用の作業着を着用 ・廃棄等の前に遺伝子組換え生物等を不活化 ・「P3レベル実験中」の表示
4	(省略)	

その他、遺伝子組み換え実験に関する施設要件についてもカルタヘナ法の二種省令に記載されている。

BSLは、厚生労働省所管の国立感染症研究所が作成したものであり、法的要件ではない。一方で、特定病原体等の取扱施設要件は感染症法の定める義務であり、P1～P4の遺伝子組換え生物の拡散防止措置はカルタヘナ法の定める義務となっている。それぞれで基準が異なる部分があるが(BSL2とP2は同じ要件ではない)、BSLの基準は世界保健機関(WHO)が制定したものであり、実験室内の設備に関して広く考慮したものであるため、特定病原体や、遺伝子組み換え微生物の取り扱いであっても、実験室の封じ込め要件をBSLで指定している研究所が多い。

3-2. 具体的な操作、注意事項について

3-2-1. 実験室内での飲食禁止

生物実験を行う実験室に限らず、実験室は全て飲食禁止である。特に、BSLレベルやPレベルの実験室内では、バイオハザードの危険からも飲食は厳禁である。

飲食が行われていないか、行われた形跡(飴やガムの包み紙などが廃棄物容器に入っているなど)がないかを定期的にチェックすることも重要である。



図：食べ物は研究室内に置かない



図：研究室での飲食の形跡

3-2-2. 実験台

生物実験を行う上で必ず使用する実験スペースに「安全キャビネット」と「クリーンベンチ」がある。病原体や微生物を取り扱う際に外部に漏洩することで起こりえるバイオハザードを防ぐため、そして、それらを取り扱う実験や、組織・細胞培養の作業を行う場合は、無菌操作が重要であり、そのための滅菌状態を作り、保つために必ず使用する実験スペースである。

安全キャビネットはバイオハザードを封じ込めるための実験設備であり、上述の通り、BSLやPレベルの実験設備においても設置が義務付けられているものである。クリーンベンチは無菌実験台であり、埃や微生物の混入を避けながら、無菌操作を行うための装置である。それぞれの特徴について以下に概説する。

● 安全キャビネット

バイオハザード対策用キャビネットとも言われ、生物実験において、病原体や遺伝子組換え生物を取り扱う実験者が、その検体に感染してしまうことを防ぐために、病原体等が実験者側に漏洩しないよう封じ込めるための設備である。

安全キャビネットの構造はドラフトチャンバーの構造と類似しており、排気口にHEPAフィルター (High efficiency particulate airfilter)などのフィルターを取り付け、病原体等が箱外に漏出しないようにしたものである。

安全キャビネットは、中～高度のバイオハザードを取り扱う施設に必須の設備であり、前述の通り、BSLやPレベルの実験設備には必須の設置要件となっている。

なお、安全キャビネットは、滅菌吸気やエアカーテン、隔壁等を加えることで安全性を高めたものもあり、その構造により、以下の3種類に分類される。

クラスⅠ：排気装置+排気滅菌

クラスⅡ：排気装置+排気滅菌+滅菌吸気エアカーテン

クラスⅢ：排気装置+排気滅菌+滅菌吸気+隔壁(グローブボックス)

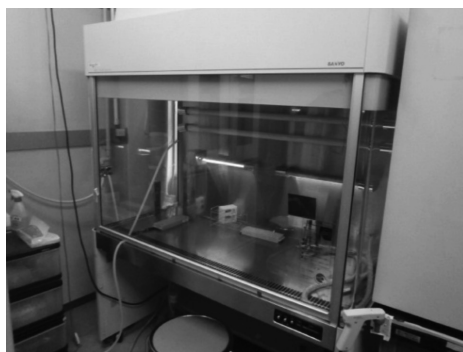
● クリーンベンチ

埃や微生物の混入を避けながら作業を行う(無菌操作)ための装置である。微生物の混入を避けるため、作業を行うスペースの周囲に壁と天井を設け、箱状の構造をしており、濾過した空気を作業スペースに吹き付けることで無埃、無菌の状態に保つものである。

クリーンベンチは囲まれたスペースの内側の天井や前方の壁から、フィルターを通して無菌化された風が送られる構造となっており、実験スペースの無菌状態を保つことができる。

クリーンベンチには安全キャビネットのような法的な規格は定められておらず、病原体や微生物の外部への漏洩を防ぐ封じ込めは期待できないことに注意が必要である。

安全キャビネット、クリーンベンチ共に、作業スペースの殺菌のために殺菌灯が付いているものがある。殺菌灯は紫外線を照射し、殺菌するためのライトなので、これを点灯させたまま作業すると紫外線により目の障害や、皮膚癌や白内障の危険があるので、作業時は必ず消灯することを忘れてはいけない。



図：クリーンベンチ



図：安全キャビネット

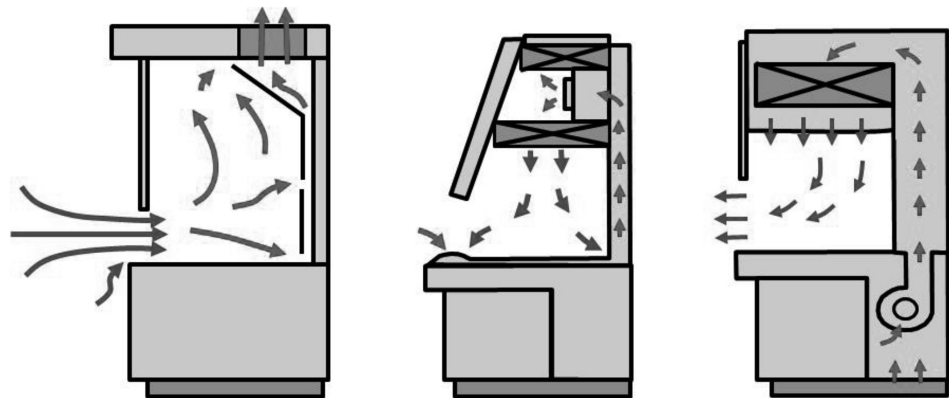
Topics : ドラフトチャンバーと安全キャビネット、クリーンベンチ

ドラフトチャンバーと安全キャビネット、クリーンベンチは外見が類似しているため、勘違いした状態で使用するケースが多くある。それぞれ構造上に違いがあるため、把握した上で使用する必要がある。

ドラフトチャンバー：ケミカルハザードを防ぐための装置。装置内で発生したガス、粒子状物質をスクラバーを通して洗浄、除去し、排出する装置である。

安全キャビネット：バイオハザードを防ぐための装置。作業面にHEPAフィルターを通したクリーンな空気を送り、発生した粒子状物質はHEPAフィルターを通し排気することにより、作業者を保護する装置である。排気機能もついているため、ドラフトと同じように使用できるが、排気後のスクラバー設備等は付加していないため、ガス等を洗浄することはできない。使用する化学物質によってはフィルターが侵される場合もあるので、基本的には化学物質の使用には適していない。

クリーンベンチ：無菌状態を保つための装置。作業面にHEPAフィルターを通したクリーンな空気を送り、作業面の清浄度を保つ装置である。通常のクリーンベンチは吸気機能は持っていないため、実験者を保護する構造にはなっていない。ドラフトや安全キャビネットは内部が陰圧になっているが、クリーンベンチは陽圧になっており、構造的に逆になっていることを把握しておく必要がある。



図：ドラフトチャンバーと安全キャビネット、クリーンベンチの空気の流れイメージ
(左：ドラフトチャンバー、中：安全キャビネット、右：クリーンベンチ)

3-2-3. 滅菌処理について

滅菌とは、増殖性を持つ微生物を殺滅、または除去する操作であり、対象となる微生物等を発育させるためにそれ以外の微生物を除去するためや、廃棄物として外に出す際に、バイオハザードを防ぐために完全に死滅させた状態にするためなど、生物実験では必ず行う操作である。

滅菌処理には多くの方法がある。以下に一例を述べる。また、高温操作やガスなどを用いた操作を行うため、事故が多く発生してしまっている。これらの事故についてもそれぞれ記載した。

火災滅菌：直接、火で焼く方法。一般的に、アルコールランプやガスバーナーを使って行う。

Topics : 火炎滅菌時の火傷事故多発!

滅菌操作時の火炎による火傷が多発している。実験台の奥にある物品を取る際に着衣の袖部分をバーナーの火にさらしてしまう場合や、着火のために用いるアルコールをこぼしてしまい、それにバーナーの火が引火した場合など多数の事故が報告されている。着衣の袖を下に垂らしすぎないこと、エタノールを必要以上実験台上に置かないこと、整理整頓をしておくことなど最低限の注意が必要。また、アルコールランプは火の色が青に近いので、見えにくく、気付かないうちに着衣に着火していることがあるので、注意すること。

乾熱滅菌：ガス式または電気式の機械で滅菌する方法。乾燥状態で180℃（30分以上）、あるいは160℃（1時間以上）の熱で滅菌する。ガラスや金属製品などの滅菌に使用する。高温にするため、水分を含む物体や、培地などの水溶液、プラスチック類を滅菌することができない。

Topics : 乾熱滅菌時の火災事故多発!

乾熱滅菌で用いる滅菌器は160℃以上の高温に設定される。この滅菌器を洗浄後の乾燥に用いるための乾燥機と取り違い、プラスチック製のチップやシャーレなどを入れてしまい、プラスチックが溶融し、発火してしまう事故が多発している。現在の設定温度を必ず確認すること(装置の前面に張り紙などで「使用中」「設定温度～℃」などの表示をすることが望ましい)。また、温度センサーの故障や、内部にモノを詰め込みすぎることによって温度にばらつきが生じる場合などがあるため、定常状態になることを確認するまでは装置から離れないこと。

蒸気滅菌：オートクレーブを用いる方法。培地、包帯、ガーゼなど多くの器材の滅菌に活用されている。オートクレーブは、高圧蒸気滅菌器と言われ、内部を高圧にすることで、100℃を大きく超える高温状態の水で、滅菌処理のための装置である。滅菌操作としては最も普遍的な方法である。

通常、2気圧の飽和水蒸気によって温度を121℃に上昇させ、20分間処理するため、対象物の水分を保持したまま、低い温度、短い時間で滅菌を行うことが可能である(120℃以下で変質する成分や、熱に弱いプラスチックなどは滅菌できない)。

Topics : オートクレーブによる事故

オートクレーブ装置を用いた場合、滅菌後に装置から対象を取り出す際に、火傷を負ってしまう事故が多い。装置に表示されている温度よりも内容物の温度が高いため、温度が下がったと勘違いして直接接触してしまった例や、高温状態のまま取り出したことで、内容物が突沸し、内容物が吹き出し顔にかかってしまった例など多く発生している。温度が冷えてから取り出すことを徹底すること。また、特に静置状態で高温にした場合、持ち上げるなどの衝撃が加わると突沸することがあるので、注意すること。



写真：オートクレーブ

左図のような壁に取り付けた大型のものから右図のような小型のものがある。

ガス滅菌：ガスを用いて滅菌する方法。一般的には、エチレンオキシドガス(EOG)が用いられる。乾熱滅菌や、オートクレーブが使用できないプラスチック製品などにも適応できる。

毒性の強いガスであるため、人体等に有害であるので、取扱時は漏洩防止や換気など十分に注意すること。

化学滅菌剤：次亜塩素酸や、過酢酸、グルタルアルデヒドなどの化学剤にて、浸漬して滅菌を行う方法。

その他、濾過滅菌(細菌よりも小さなフィルターで濾過する方法)、電離放射線による滅菌(ガンマ線による滅菌方法)、高周波による滅菌(高周波を直接照射し、発生する熱により行う滅菌方法)など、様々な滅菌方法があり、使用する微生物、物品等に応じて使い分けられている。

3-2-4. バイオハザード表示

生物実験を行う実験室では、使用する生物材に応じたハザード標識を付ける必要がある。

- 実験室入口の表示

P2及びP3レベルの実験室には、入口ドアにバイオハザード標識を表示し、危険であることを注意喚起すること

- 保管庫の表示

病原体の保管庫には、バイオハザード標識を表示し、保管責任者・保管内容・緊急連絡用電話番号等を表示すること



図：バイオハザード標識



図：病原体保管庫にはバイオハザード標識を表示

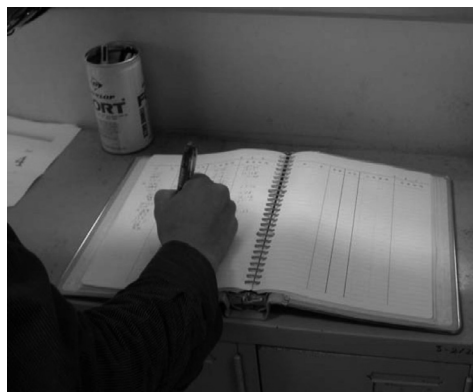
3-2-5. 入退室管理、使用記録

生物実験を行う実験室では、実験内容に応じて、人の入退室の管理、使用記録を取る必要がある。

- P3レベルの実験室では、危険な病原体が用いられている。何をどこで扱っているのか、保管しているのかを把握している者のみが入退室できる体制を構築すること
- P3レベル実験室では、いつ、誰が入退室したかが把握できるように、立入記録簿を記入すること。きちんと記入されていることを定期的を確認すること
- P3実験室への立入りには、実験実施者の安全が確保できるように滅菌されたものを着衣するように義務付けること
- 実験に用いるP3レベルの病原体(遺伝子操作を加えた組換え体も含む)は「使用記録簿」に記録すること。記録は、使用するたびに適正に記録すること。
- バイオハザード標識を表示した保管庫の内容については、「使用記録簿」と照らし合わせるなど、適正に保管されていることを定期的を確認すること



図：バイオハザード対策実験室のセキュリティ管理



図：入退室ごとに記録するP3実験室立入記録簿



図：P3実験室内に入る場合の服装



図：特に、空気感染するような危険な病原体を扱う場合には、手袋を二重にし、マスクはN95などを使用する



図：保管庫の内容は「使用記録簿」で管理

3-3. 実験動物の一般的取り扱い

動物実験には種々の実験動物が使用され、種によって取り扱い上多少異なる点はあるが、ここではマウス、ラット、モルモット、ウサギ、ハムスター等実験上しばしば使用され、かつ入手しやすい小動物群について取り扱い上の一般的注意を述べておく。

この基本は動物及びそれに寄生する生物が諸種の疾患の感染源となったり、媒介するおそれがあるとの考えに立ったものである。他種の動物についても、この注意を十分生かした上で取り扱い方を考えておく必要がある。

また、放射線同位元素負荷動物及び病原微生物感染動物、またトランスジェニックマウスに代表される組換えDNA個体は更に一層嚴重な注意が必要であるが、この場合も実験動物取り扱いの基本を守ったうえ、後述の指示に従って実験を行わなければならない。

3-3-1. 実験動物の飼育

- 1) 実験動物飼育は、特定の場所に設けられた実験動物飼育室に限って許可される。一般の実験室等での飼育を禁止する。
- 2) 実験動物飼育室への出入りの際には、動物実験施設にそなえつけられてある消毒された着衣、履物と交換すること。また、手を必ずよく洗うこと。
- 3) 実験動物を取り扱うときは原則として、清潔なマスク及びゴム手袋を着用する。実験動物は極度に興奮させると噛むことがあるので、実験動物を正しい方法で保持

し、実験動物及び保持者が外傷をおわないよう心がけること。もし噛まれた場合、その箇所を圧迫して血液または組織液を排出した後、ヨウ素系薬剤で消毒し、必要があれば外科を受診すること。

- 4) ダニ、ゴキブリ、あるいは、ノネズミ等の伝染病を媒介する可能性のある昆虫類、野生動物の出入りに気付いた場合は、直ちにその動物実験施設の管理者又は動物実験委員会に、その旨を届けること。
- 5) 実験動物が納入されるまでに上述の昆虫類、野生動物と接触する可能性があるため、実験動物業者の飼育状況を十分確かめた後、実験動物業者を選択し、そこから特定の病原微生物フリーの清浄な動物(SPF動物という)を購入すること。
- 6) 近年は、環境保護の立場から野生動物を用いることは厳しく規制されていることを認識すること。
- 7) 実験用動物の導入に当たっては、出所の明らかな動物であることを証明書等によって確認すること。
- 8) 実験動物の排泄物、体毛等は十分消毒した後処理すること。

3-3-2. 実験動物の殺処分

- 1) 実験動物の安楽死、手術及び採血等は実験動物処置用の特定の区域が定められているので、必ずそこで行うこと。
- 2) 実験動物処置室への出入り時の手洗消毒、着衣と履物の交換、動物取扱い時のマスク、手術用手袋の着用、器具類の消毒等を実験動物飼育室での注意に準じて励行すること。ただし、処置室で使用される着衣、履物、器具等と飼育室にあるものとの混用を避けること。
- 3) 実験動物の臓器、体液、特に血液の飛散を防ぐように厳重に注意すること。
- 4) 実験動物は定められた安楽死法を用いて死亡を確認した後、不透明な密封できる包装を行い死体処理場へ運ぶこと。
- 5) 実験動物の体液、排泄物を下水に流すときは衛生的に行うよう配慮すること。
- 6) 安楽死、手術あるいは採血用の器具は使用后直ちに洗浄すること。
- 7) 実験動物処置室は定期的に清掃と消毒を行うことになっている。しかし、実験動物処置室が動物実験施設外にあるときは、管理の行きとどかないことがあるので、使用者が責任をもって清掃消毒に当たること。

3-3-3. 放射線同位元素負荷動物の取り扱い

各部局の放射線安全委員会及び各動物実験施設あるいは動物実験委員会の指示に従って動物実験を行うこと。ただし、この場合も実験動物の一般的な取り扱い上の注意を必ず守ること。

3-3-4. 感染動物実験

各部局の動物実験施設あるいは動物実験委員会の指示を受けた後、大阪大学動物実験規定に沿って実験計画を立てること。感染した動物はin vitroの微生物と異な

り、それ自体が感染を拡大するので、より厳重な扱いが定められている。感染症法の規程では、意図的に感染させた実験動物は病原体として保管することが規定されている。

大阪大学病原体等安全管理規程及びマニュアルを参照し、バイオセーフティを徹底すること。

3-3-5. 消毒法

- 1) 爪をつねに短く切っておく。実験動物飼育室及び実験動物処置室に入るときはブラシを用いて石鹼で爪の間までよく洗う。ただし、石鹼臭は実験動物に影響を与える可能性があるので十分水洗して流し落とすこと。退出時には、クレゾール石鹼液の1～2%溶液またはヒビテン・ジゲルコネート(ヒビテンと略す)の0.02%溶液等、適切な消毒薬に手を浸して水洗をする。
- 2) 手術、採血等に用いた器具は使用后、消毒すること。
- 3) 血液、体液、排泄物で汚染された着衣は消毒し、オートクレーブで加熱滅菌(121℃、15～20分)した後洗濯する。マスク、手術に使用したガーゼ類も加熱滅菌した後洗濯すること。
- 4) 実験動物の死体は、感染性廃棄物処理マニュアルに従って適切に保管・廃棄する。
- 5) 飼育ケージを使用後は、消毒滅菌すること。
- 6) 実験動物処置室の消毒は、消毒薬の噴霧等適切な方法で行うこと。

3-3-6. その他の一般的注意

- 1) 実験を行うか、実験動物飼育室あるいは処置室に出入りする際は、徹夜実験等による肉体的疲労を残さないよう体調を整えておくこと。
- 2) 万一、事故が起こった場合は、各部局の動物実験施設あるいは動物実験委員会に直ちに報告し、その指示に従うこと。

3-4. 生物実験における廃棄物について

生物実験において発生する廃棄物は、それ自体がバイオハザードの危険を含んでいることに加えて、複数の廃棄物の混同、内容物が不明になってしまうことなど、より危険性が高まってしまっているものとも言える。取扱上の危険については、上述の通りだが、廃棄し終えるまでの手順も確実に理解し、遵守する必要がある。

廃棄物についての取扱は後章「実験廃棄物の安全な処理のために」に詳細を記載した。本章では注意事項を概説するに留める。

3-4-1. 感染性廃棄物の分別

- 感染性廃棄物は感染症の汚染源となる可能性があるため、適切に分別して処理すること
- 医療用廃棄物とは、血液等が付着した遠心チューブやピペット、注射器・針が含まれる。これらの廃棄物はメスキュード缶という感染性廃棄物専用の廃棄用缶にまとめること。

Topics : 特に注意を要する針を用いた実験

針を用いて、感染性のある病原体を操作していて、指に刺してしまった、また実験終了後に、操作に用いた針にキャップして捨てようとして誤ってキャップを持っていた指を刺してしまった、などの事故が多数発生している。針を用いる実験は最小限に抑え、もし代替手段がない場合にも、用いた針はリキャップせずに専用の保管箱に入れ、滅菌することにより安全な状態にしてからメスキュード缶に入れること。もし、事故が発生した場合には感染の危険性が高いため、部局の安全管理委員長に報告し、速やかに対応する必要がある。また、先のとがったピペットチップなども別のプラスチックボトル内へ廃棄し、適切に滅菌処理する必要がある。



図：注射針は使用後リキャップせず左図のような専用の保管箱へ。また、先のとがったピペットチップなどは、滅菌操作中の事故を避けるために、右図のように、あらかじめ消毒薬をいれたプラスチックボトル内へ廃棄すると安全

3-4-2. 感染性廃棄物の滅菌処理

- 感染性廃棄物は、適切に滅菌処理した後に廃棄すること
- 実験室単位の滅菌には通常オートクレーブ滅菌が用いられるが、病原性を持ったプリオンに汚染している可能性のあるものは、通常のオートクレーブ操作では滅菌されないため、プリオン専用のオートクレーブで滅菌した後に廃棄すること。またはメスキュード缶に入れて廃棄すること
- 実験室で感染性のあるものに汚染された可能性のある一般廃棄物(可燃物および不燃物)も、滅菌操作を行った後に廃棄すること

過去に起きた事故・ヒヤリハットから

プリオン用のオートクレーブを使用中に、蓋が飛んで大惨事になるところだった。プリオン用のオートクレーブは、通常のものでは滅菌効果がないため、特別なプリオン専用のものが使われている。高温・高圧になっているので、定期的な点検と、使用者の注意深い扱いが求められる。

3-5. 血液、体液等による災害防止について

最近、医療の場における肝炎ウイルス感染事故が注目されている。したがってヒト組織、血液、体液を用いる実験には感染防止策が必要である。これは感染動物でも同様である。こうした材料を扱う実験ではその取り扱いに注意する必要がある。注射針の針刺し事故による感染もよく起こる。とくに、使用した注射針にキャップを戻す時の針刺

し事故が最も多いので、使用後はキャップをせず、そのまま指定の感染性廃棄物用の容器に廃棄するなどの注意が必要である。実験後の試料の処理も特別に行う必要がある。さらにこれらの実験に使った注射器はもとより試験管、シャーレ、ピペットなどの試料に接触した器具の処理を適切に行う必要がある。最も確実なのはオートクレーブによる滅菌を行うことである。確実に汚染した器材はもちろんであるが、間接的に試料に接触した器材、感染が明らかではないが、そのおそれのある試料に接触した器材などもすべて感染性廃棄物として扱う必要がある。これらは厚生労働省が定めた「感染性廃棄物処理マニュアル」で規定されている。

感染動物の危険性について、わが国のある動物施設で起こった事故の例をあげる。その施設では実験に使った動物の死体をビニール袋に入れて、フリーザーで凍結保存していた。これを取り出す際に、ビニール袋が破れて、血液や体液などの一部がフリーザー内にこぼれた為、水を噴射してフリーザーの庫内清掃を行った。ところが、これに従事した2名が2週間後に相次いで高熱を発し、検査をした結果、腎症候性出血熱と判明した。この病気はウイルス性の病気で、ラットなどのゲッ歯類によって媒介されてヒトに伝播する。したがって、感染のおそれがある動物の実験が終了した後は、その死体だけでなく、血液、体液、使用済み床敷、排泄物は感染性廃棄物として扱う必要がある。

さらにたとえ滅菌後の器材であったり、清浄な動物の血液が付着した器材であっても、滅菌済みであることが確認できない、ヒト血液と動物血液と外観からは区別できないなどの理由から、感染性廃棄物に準ずるものとして扱うことが求められる場合もある。とりわけ注射器はたとえ未使用であってもヒト血液、体液に接触することが前提の器材なので感染性廃棄物として処理することが望まれる。さらに注射針は物理的な傷害を引き起こすこと、感染試料に接触したものは感染事故を起こしやすいことから、未使用、滅菌済みを問わず、すべての感染性廃棄物として扱わねばならない。

実験器材の中には廃棄物分類に迷う物も多くでてくる。各部局で定められた規定に従い、管理者等の指示に従うことが重要である。とくに生物実験の試料等は腐敗、変敗するだけでなく感染性微生物を増殖させる場ともなり衛生上、長時間放置することができない。適切な廃棄物処理法を十分理解して実験にあたること。

また、実験動物の体液、特に尿中の蛋白などによるアレルギーが、懸念されている。これは一度でもアレルゲンに感作されると、それ以降のアレルゲンへの接触により、アレルギー反応が惹起され、時にはアナフィラキシーショックを招来することもある。この予防には適切な空調換気設備の整った施設で、飼育、実験を行うことが必要である。さらに、身体保護具として、マスク、ゴム手袋、ゴーグル及び適切な着衣を着用することによりアレルゲンへの暴露を防止することが重要である。

不幸にしてアレルギー反応が知覚されたら、急ぎ、飼育室、実験室等から出て、シャワー等によるアレルゲンの除去を行い、医療機関を受診すること。また、アナフィラキシーショックに対しては、発見した者が行動することが求められる。可能であれば、アレルゲンが存在すると考えられる場所から移動させ、キャンパスライフ健康支援センター等の医療機関に連絡し、医師の指示を仰ぐか、時には救急車の出動を依頼することも考慮してほしい。

4. 必要な届出について

これまでに述べたように、生物実験を行うためには施設要件、取り扱いの方法など様々な規制とルールがある。実験によっては厚生労働省の許可などが必要な実験も多いため、これらの届出、申請などの対応は抜けがないように確実に対応する必要がある。これらの届出、申請についても詳細については、各生物材にそれぞれ定められている規制や、マニュアルも参考にしてほしい。

届出等について簡易的に取りまとめた表を以下に示す。

対象	法令等	手続き等
感染症・病原微生物・動物輸入届出・輸入サル	・感染症法	・特定病原体(1-3種)は国の指定、許可または届出、4種は機関管理 ・動物輸入届出は検疫所・輸入サルは大臣の施設指定
遺伝子組換え生物	・カルタヘナ法	・使用について一部国の承認(大臣確認) ・他は自主管理(機関承認)
実験動物、動物実験	・動物愛護法 ・関連する指針・基準	・自主管理(機関承認)
特定動物(猛獣、有毒動物、サル等)	・動物愛護法	・特定動物の飼育を国または自治体に届出
外来生物	・外来生物法	・指定動物の保管 ・使用について、国の承認
ヒトES細胞・クローン	・ヒトに関するクローン技術等の規制に関する法律 ・ヒトES細胞の樹立及び使用に関する指針	・特定胚を用いた研究の禁止 ・ES細胞の樹立及び使用について大臣確認
ゲノム情報、疫学研究	・ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針 ・疫学研究に関する倫理指針	・個人情報の保護、インフォームド・コンセント、倫理委員会の設置等 ・自主管理(機関承認)

また、感染症法に該当する特定病原体の使用に際しての届出、申請についても簡易的に取りまとめた表を示す。

	一種	二種	三種	四種
所持・輸入の大臣指定	◎			
所持・輸入の許可		◎		
所持・輸入の届出			◎	
感染症発生予防規程の作成	◎	◎		
病原体等取扱主任者の選任	◎	◎		
教育訓練	◎	◎		
滅菌等(指定・許可取消の場合)	◎	◎		
記帳義務	◎	◎	◎	
施設の基準	◎/○	◎/○	○	○
保管等の基準	○	○	○	○
運搬の届出	◎	◎	◎	
事故届出	◎	◎	◎	◎
災害時の応急措置	◎	◎	◎	◎

◎：法律上の義務・直罰 ○：改善命令

5. 参考文献、法令等ならびに学内関連サイト

動物の愛護及び管理に関する法律(動物愛護法)

<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S48/S48HO105.html>

実験動物の飼養及び保管並びに苦痛の軽減に関する基準

http://www.env.go.jp/nature/dobutsu/aigo/2_data/nt_h180428_88.html

研究機関等における動物実験等の実施に関する基本指針

http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/nc/06060904.htm

動物実験の適正な実施に向けたガイドライン

<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-k16-2.pdf>

大阪大学動物実験委員会／大阪大学動物実験規程

<http://www.osaka-u.ac.jp/ja/research/iinkai/animal>

遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律

<http://www.http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H15/H15H0097.html>

大阪大学原子力研究・安全委員会

<http://www.osaka-u.ac.jp/ja/research/iinkai/atom>

大阪大学遺伝子組換え実験安全委員会

<http://www.osaka-u.ac.jp/ja/research/iinkai/dna>

大阪大学遺伝子組換え実験安全管理規程／大阪大学遺伝子組換え実施規則

https://my.osaka-u.ac.jp/admin/kensui/gene_recombination/identshi_kiteitou

遺伝子組換え実験安全の手引き(マイハンドイ)

https://my.osaka-u.ac.jp/admin/kensui/gene_recombination/manuals/guidance

感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律(感染症法)

<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H10/H10H0114.html>

大阪大学病原体等安全管理規程／大阪大学病原体等安全管理マニュアル

<https://my.osaka-u.ac.jp/admin/kensui/7huhmz>

家畜伝染病予防法

<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S26/S26HO166.html>

大阪大学感染症発生予防規程

https://my.osaka-u.ac.jp/admin/kensui/pathogen_rules/files/j15qes/view

6. おわりに

動物実験は動物に対して一定の処置を加え、動物の示す反応を解析するのが通常の型であるが、精度の高い再現性のある動物実験の成績を得るためには、微生物学的・遺伝学的に品質管理された良質の実験動物を用い、種々の環境因子が統御された環境で飼育され、適格な実験技術をもって実験を行わなければならない。このような動物実験の基本事項が順守される限り、動物実験における安全は確保されるはずである。実験の性質上、サル類等を使用する場合も、実験環境に導入時また実験開始前一定の期間を置き、十分に動物の一般状態を観察し、必要に応じて動物実験委員会

に助言を求めて検疫、検査を行い実験時の安全に注意すること。

化学物質や微生物などが生体に及ぼす影響は、長期の疫学的研究や動物実験の結果で明らかになることがある。したがって、現時点では病原性が明らかでない化学物質やウイルスなどの微生物も、もしかすると、将来、病原性が明らかになる可能性もある。たとえば、アスベスト(石綿)は、建築資材や家庭用品に広範囲に用いられていたが、近年になり、空中に飛散した石綿繊維を大量に吸入した場合、15～50年後に肺ガンや中皮腫などになる危険性があることがわかった。また、ウイルスなどの病原体や病原性物質が動物種の壁を越えて致死的な病原性をもつようになる例もある。たとえば、H1N1インフルエンザやプリオン病(ウシ海綿状脳症)などは、このような変化によってヒトにも重大な病気を起こすようになったものである。したがって、生物や生物由来の材料を扱うには、常に細心の注意を払う必要がある。そのためには、実験動物と病原性物質に関する正確な知識と最新の情報を得ることを心がけてほしい。

V. 電気を安全に取り扱うために

V. 電気を安全に取り扱うために

1. はじめに

大学において実験などで電気を使用することで発生する災害を防止するために注意すべき要点をまとめた。電気エネルギーに起因する災害(電気災害)の主要なものは、感電と火災・爆発であるが、電気を使用する機器が多様化しており、発生する事故の形態も多種多様なものがある。例えば、冬場冷え込んだ実験室にハロゲンヒーターを持ち込んで暖房を始めたところ、タコ足配線となっていたためにコンセント部分から出火、実験室全体が停電となり、同室内の片隅で冷凍保存していた研究用細胞が解凍されてしまったなど、副次的な事象も巻き込んで大きな被害を生じるケースもある。また、感電による事故の場合、ショックによる呼吸と心臓の停止では一刻を争う救命救急が必要である。このような事態に即座に対応するためには各研究室などでの事前の準備と対策が重要である。

2. 感電による事故の防止と対処

2-1. 感電

感電は、電撃とも呼ばれ、最も直接的な電気災害であり、しばしば死をもたらすので特に注意を要する。感電による災害は、配電線や電気機器の通電部ないしは帯電部^{*1}への接近・接触^{*2}等により、人間の身体を通して大地(ときには線間)に電流が流れることにより発生する。

災害をもたらす電流の閾値は、電源の容量、周波数、波形、人間の年齢、性別、個人により差があり一定でない。しかも、同一人でも実験室の空気の状態(湿度など)や人間の精神状態(手の汗の状況など)によっても影響を受けるものである^{*3}。目安として50～60Hzの交流電源に手や足で感電した場合を例にとると、大略1mA程度で感覚に知覚され、10mAでは耐えがたい苦痛を伴う。さらに20mA程度では自力で感電回路から離れることができなくなり、50mAにもなると呼吸困難に陥る。さらに100mA以上の場合には、ほとんど致命的である。とりわけ、電流が心臓部を流れると、心室細動^{*4}と呼ばれる心臓障害を起こし最も危険である。

次に、電圧の面からみると、全身を水中におく場合には10Vでも死亡した例があるとされる。しかし、一般に、大学における通常の実験時の状態では、交流で20～30V、直流では50V程度以下の電圧ではおおむね安全であり、100～200Vの範囲で急激に危険度が増す。一般に直流より交流の方が危険性が高いとされているので注意が必要である。また、体質や体調によっては低電圧でも事故になる場合があるので、電圧の低い場合でも通電部や帯電部に直接接触することは避けるべきである。

なお、感電としては、上記のほか、雷による感電がある。野外において実験、観測、調査などを行う際には、雷による災害とその防止について、あらかじめ検討し、対策を立てておく必要がある。

^{*1} 電源スイッチ遮断後もコンデンサに電荷が蓄えられている場合があるので注意が必

要である。また、静電気により帯電している場合も考えられる。

- ※2 高電圧の場合、通電部または帯電部へ直接に接触しなくても、気中放電により人体との間に短絡路が形成され、感電するおそれがある。荷電部分への接近安全距離は10kVで20cm、30kVで45cm、100kVでは115cmである。最近、絶縁材料等の進歩に伴い高電圧機器でも線間、大地間の間隙が縮小される傾向にあるため、接近・接触による事故は増加しつつあり、注意する必要がある。
- ※3 水分・湿り気があると電気抵抗が低下するため、感電による被害が大きくなる。このため、濡れた手での操作は危険なので絶対に行わない。また、水気のある場所や湿度の高い所で電気機器を扱う場合には感電しないよう特に注意する。
- ※4 この心室細動に対して除振動を行うためのものがAED（Automated External Defibrillator；自動体外式除細動器）である。大学において実験研究に携わる者は、必ず、実験室から最も近い場所に設置されているAEDは把握しておくべきである。

2-2. 感電防止のための注意

統計によれば、感電事故の原因としては、作業者ないし実験者の“不適切な行動”によるものが最も多い。このことは、感電による災害を防ぐには、疲労を避け、気持を引き締め、また相互の連絡をよくすることが、非常に重要なことを示している。具体的には、当然通電部ないしは帯電部への接近・接触を避けることが大切であるが、以下の各項目についても留意しなければならない。

- 1) 電気機器の接地（アース）を完全にすること^{*1}。特に、高電圧・大電流機器に対する接地は必ず配電盤内のアース端子に、所定のアース線を用いて接続する。なお、特段の事情がない限り、アース線には緑色の導線を用いること。さらに、事故防止の観点から、アース以外の導線には緑色を使用しないこと。
- 2) 高電圧や大電流の通電部ないしは帯電部に誤って接近・接触することがないよう絶縁物で遮蔽する。または、その近くの場所へは立ち入ることができないよう柵を設けるなどの対策を行い、危険区域である旨を明示すること。
- 3) 電気機器の通電部ないしは帯電部へ直接に触れることが必要になったときは電源を切り、テスター、検電器等で機器が通電・帯電状態でないことを十分に確認してから行う。さらに、接地棒等により、その部分を必ず接地した状態にして作業をすすめる。対象物が高電圧・大電流になるほど作業接地を励行する。
- 4) 電気機器からの漏えい電流を避けるため、付着したゴミや油をとり去って、機器とその周囲を清潔に保つ。場合によっては、漏電遮断器を設置する。
- 5) 高電圧や大電流を伴う実験は単独であることを避けて複数人で実施すること。この種の実験や作業に当たっては、手順に関する詳細・明確なリストを作成し、それぞれ確認のチェックを行いながら、実験や作業をすすめる。また、事前に指揮系統と責任体制を明確にしておき、作業中は連絡・報告などを含めて相互の意思疎通を行う。
- 6) 万一、事故が発生した場合は迅速に電源を遮断できるように、配電盤の位置と

操作法を常に念頭に入れておく※2。

7) 感電により転倒した場合も、できるだけ安全であるよう、平常から実験室の状態に気をつける。高所での作業には、命綱や柵付きの台車等を用いて万一充電部に触れ電撃によって身体が飛ばされた場合でも転落しないよう万全を期する。なお、実験の際は、作業しやすくまた余分な裾などが出ていない服を着用すべきである(工作機械の作業服に関するページを参照のこと)。また、必要に応じて、絶縁対策としての安全帽、ゴム手袋、ゴム靴や絶縁台、絶縁マット等を適宜使用する。ゴム手袋の使用に当たっては、ごく小さい孔もあいていないことの確認を励行すべきである。

- ※1 電気機器の内部で絶縁不良などにより漏電が発生すると、機器内部→筐体→人→大地を通して電流が流れて感電する。筐体をアースしておく、電流は機器内部→筐体→大地と流れるので安全である。なお、アースは、壁面コンセントなどのアース端子、実験室などに設置されている分電盤内のアース端子などに接続する。アース端子がない場合は、地面にアース棒を埋め込んだものでも対応可能である(ただし、地面との抵抗がやや高くなるので電子レンジなど家庭電化製品での使用に留めること)。なお、ガス管や水道管は経路の途中で絶縁継手などが使用されているためにアースは取れない。
- ※2 大電流回路の場合、遮断器、断路器、開閉器が設けられているケースがある。この場合、まずは、これらの機器の役割を理解すること。通常、回路を遮断するときは、まず遮断器を切り、電流計により電流ゼロを確認した後、断路器を切る。順序を逆にして、断路器を先に切ると、遮断時のアークにより、操作者が大火傷をする危険を伴うからである。また、個々の機器を回路から切り離す場合に開閉器を用いる。一方、大電流回路の投入の際は、遮断のときは順序が逆になり、断路器を先、遮断器を後に操作(投入)する。

【事故例】

屋外に設置する実験装置への電源供給のために200Vの配線をしていたが、この実験装置を使わなくなったので、室内のブレーカーを切って、実験装置のところで配線を切断した。その後、何年も経過するうちに、いつのまにか室内のブレーカーがONに切り替わってしまった。そして、たまたま屋外で作業をしていた者が配線に触ったところ、配線の先端部分が金属に接触し、ショート(電氣的な短絡が発生)して周囲に火花が飛び散った。もし、この人が配線の先端に触れていれば深刻な感電事故になるところだった。

2-3. 感電事故の対処

感電や電撃を受けた人を見付けた場合には、不用意に近付かず直ちに電源を切断し、絶縁手袋や絶縁靴を着用する、絶縁性の高いプラスチック/竹の棒/乾燥した木等を使用する等、救援者が二次感電しないよう十分に注意した上で通電部分から速

やかに引き離す。そして、感電によりショック状態となって呼吸と心臓が停止した場合は、近くにいる人が手分けをして直ちに次の事項を行う。一刻も早く人工呼吸や心臓のマッサージを始める、最寄りのAEDを取りに行く、119番に電話して救急車を要請する、である。一見、回復不可能に見えても、死の徴候を示しても、後から息を吹き返した例もあるので、人工呼吸や心臓のマッサージは救急隊員や医療関係者に引き継ぐまで諦めずに何時間でも続けること。

なお、万が一事故があった場合、速やかに連絡ができるよう、緊急連絡先等を分かりやすいところに掲示したり、自分の携帯電話のアドレス帳に研究室等で決めた緊急連絡先を登録するなどしておく。

3. 電気による火災等の防止と対処

電気に起因する火災(電気火災)は、通常火災と爆発火災に大別される。漏れい電流によるジュール熱で木材など発火しやすい部分の発熱から火災に至る通常火災と、爆発性のガスや粉塵に電気火花から引火する爆発火災である。この種の火災の防止のためには、漏電がないようにすることと、電気機器に生ずる火花の抑制が重要となる。

- 1) 定期的な絶縁抵抗テストをして、電気機器並びに配電線からの漏電の早期発見に努めるとともに、日常の機器の保守点検を十分にし、機器からの異臭や火花等にも注意する。
- 2) 爆発性のガスや粉塵が実験室に充満することのないよう万全を期する。実験により爆発性のガスを使用せざるを得ないときは、ガスなどの検知器を設置するなど安全対策をして実験を行うことは勿論のこと、状況に応じて電気機器や工具類も防爆形とすることが必要である。
- 3) 最近、各種の絶縁性材料が多様に使われるようになり、静電気発生量の増大とそれによる放電が原因の災害が増加する傾向にあり、これに対する注意も必要である。この種の災害のおそれのあるときは、除電装置を設置するなどの配慮をすべきである。なお、災害をひき起こす原因としては、上記のほか、実験装置や器具の誤った取扱いや、本来の用途以外への使用が往々にしてある。また、自作の実験器具の場合は部品の選定が不適切なことがある。特に、高電圧・大電流の回路に用いる部品は使用電圧、電流、周波数等の定格、放熱性、耐熱性、性能の劣化等に留意しなければならない。
- 4) ケーブルの過電流時には全線に亘り高温となって一気に発火する。発火個所が多く全長が長い程火災の拡大が急である。ケーブルの許容電流定格を必ず守り、タコ足配線(1本のOAタップにさらに分岐等を付けて多数の機器を接続してコンセント容量を超える状態)はしないこと。
- 5) 火災が発生した場合の消火活動は、特別の事情がない限り、電源を遮断してから始めるべきである。電源を遮断した後の消火は普通の火災に対する消火と同様である。やむを得ず通電したままで消火せざるを得ない場合は、感電する危険があるので、通電・帯電時に至近距離から水をかけたりしない。注水ホースや消火器のノズルを接地(アース)して消火作業を行う。また、通電状況が確認できず、

電気火災の恐れがある場合は、炭酸ガス消火器やABC粉末消火器をなどの電気火災にも使える消火器を使用する。

許容電流

銅単線

直径 (mm)	許容電流 (A)
1.0~1.2	16
1.2~1.6	19
1.2~2.0	27
2.0~2.6	35
2.6~3.2	48
3.2~4.0	62
4.0~5.0	81
5.0以上	107

ビニールコード

公称断面積 (mm ²)	より線構成 (本 / 直径 mm)	許容電流 (A)
0.75	30/0.18	7
1.25	50/0.18	12
2.0	37/0.26	17
3.5	45/0.32	23
5.5	70/0.32	35

←家庭電気器具、テーブルタップなどに使われている。

4. 配電に関する注意

電力会社より供給された電気は、学内に設置された変電所で受電して電圧が下げられ、それぞれの建物に送られる。そして、個々の建物内に置かれた変電設備により更に電圧が下げられて建物内部に配電される。この建物内で変電設備が置かれている部屋を一般に電気室と呼んでいる。そして、この電気室には建物内への電気配電を制御するための配電盤が設けられている。

この配電盤から各階へ、さらには各部屋へと電気配線が分岐されて(大きな建物では、階ごとに配電盤が設けられることもある)電気が供給されている。この配電系統は、建物内での電気使用のバランスを考慮して設計されており、用いられる電線の太さなども想定使用量に基づいて決定されている。このため、非常に大きな電気使用量を持つ実験装置(通常の壁面コンセントにプラグを差し込むタイプの実験装置ではなく、実験室内に設置されている分電盤から電気を直接供給するような実験装置)を導入する場合には、建物内での電気バランスや配線太さなどにも関係するので、各部局の電気担当係や建物を担当する電気設備業者など専門家に相談する。

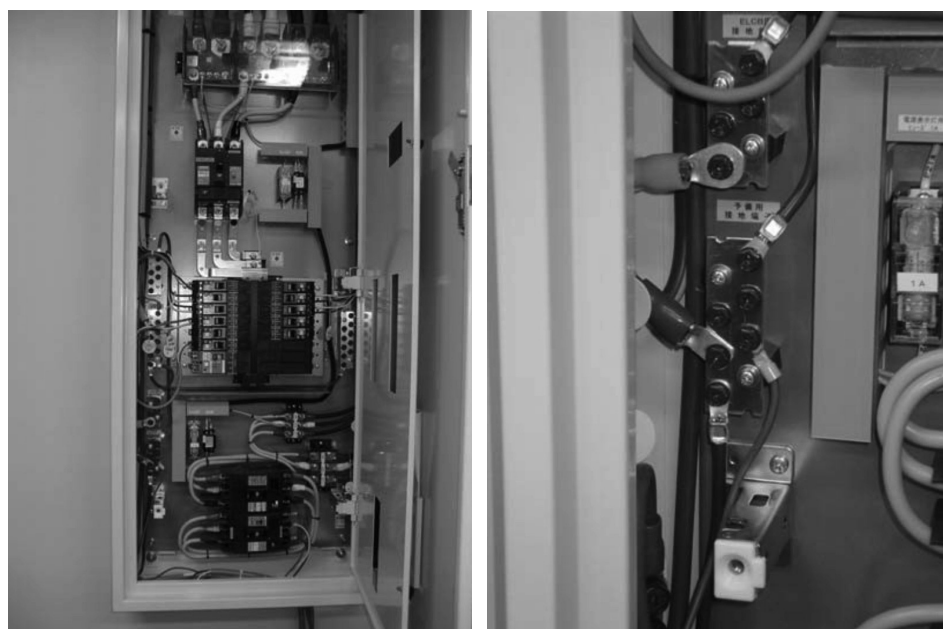
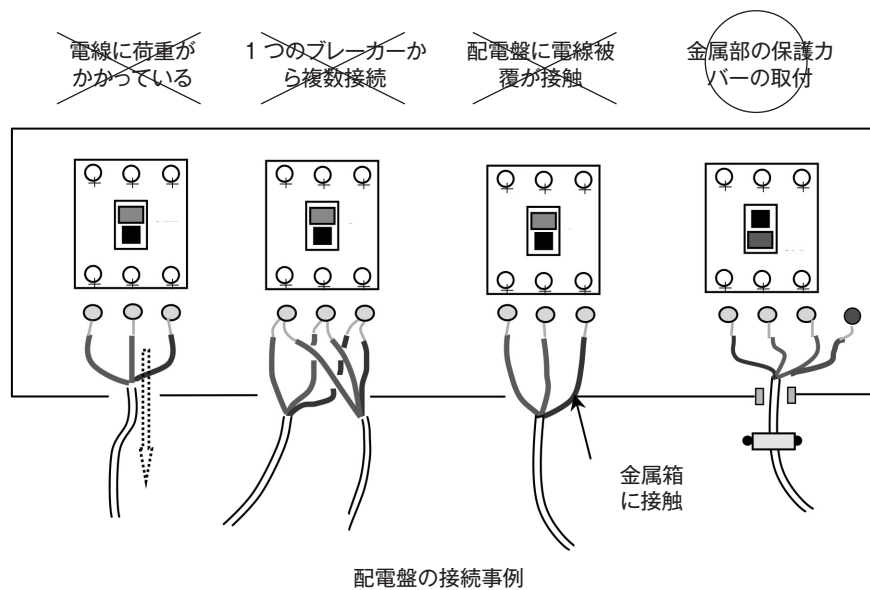
〔電気室・配電設備の注意点〕

- 1) 電気室は施錠管理して、一般の人が不用意に入室することがないようにすること。
また、火災等の発生などで一般の人が入室した場合でも、この受電・配電設備の操作については専門職員等の指示に従うこと。
- 2) 受電・配電設備の変更や、配電設備から各部屋を結ぶ電気配線の交換を伴うような工事については、必ず、部局の担当係と協議を行い、工事は専門業者によって施行されなければならない。



〔分電盤・ブレーカーの注意点〕

- 1) 各実験室等に設けられている分電盤(実験盤と呼ぶこともある)は、その室内での配電を制御するもので、緊急時にでも即座に操作が出来るように、常に扉の開閉が出来るようにする(例えば、分電盤の前にロッカーなどを置かない、など)。
- 2) 配線の繋ぎ込みなどの作業を行う際は、電気および電気配線についての知識を有する者が行うこと。可能ならば、研究室や専攻等で電気工事士の資格を持つ者が作業を行うこと。
- 3) 分電盤に実験装置などを直接接続する場合、分電盤内の電源には単相100V、単相200V、三相200Vなどの種類があるのでよく確認すること。
- 4) 分電盤内への接続に当たっては、使用する電気機器の定格電気容量などを確認し、適切な容量のブレーカーに接続すること。また、十分な太さ(導線部分の断面積)を有する電線やコードを使用すること。また、接続時は、必ずブレーカーを切り、ブレーカーの2次側端子に接続すること。この2次側端子から上流側(ブレーカーに直接接続されている電気配線も含む)については各研究室の判断で加工を行わないこと。
- 5) 分電盤での端子部分における緩みを原因とする出火事故が多いので、必ず、適切な強度での締め付けを行い、配線に荷重がかかっていないことを確認する。また、接続後もネジの緩みがないか定期的にチェックを行い、緩みが出てきたら増し締めを行う。
- 6) 分電盤の各ブレーカーを操作する時は、対応する回路に接続された機器等の主電源が切られている事を確認する。停電等の後の復旧についても同様に確認を行う。
- 7) 漏電や過電流等によって分電盤のブレーカーが遮断した場合は、感電や発火の恐れがあるので、その原因を取り除いてから電源を再投入する。



配電盤(例)

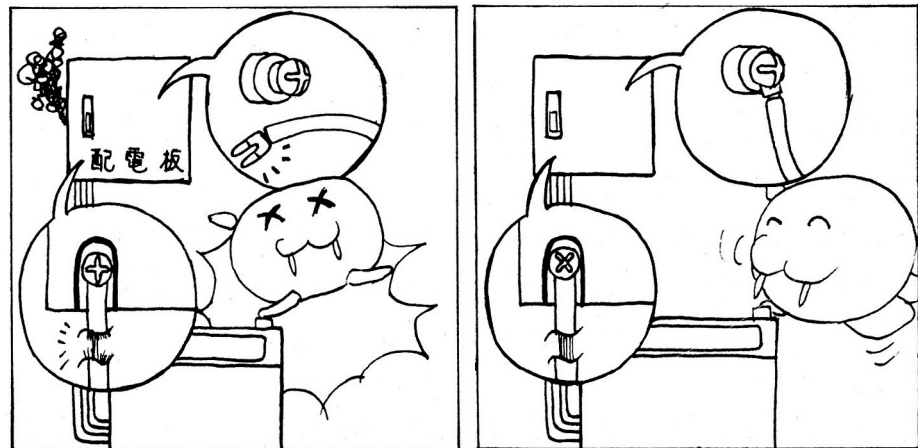
配電盤アース接続(例)

〔壁面コンセント・テーブルタップの注意点〕

- 1) 一般に壁面コンセントで供給可能な電流値は15Aである。2個口や3個口のコンセントであっても合計で15Aである。(すなわち、通常の100Vのコンセントであれば、使用できる電気機器の消費電力合計は $100V \times 15A = 1500W$ までとなる)
- 2) テーブルタップや延長コードなどの最大電流値は15A、10A、7Aなど製品により異なるので、製品本体に記載されている容量を超えないように注意する。
- 3) テーブルタップのコードや延長コードなどは束ねたままで使用しない。
- 4) 電気配線の被覆に硬化やひび割れがないか定期的に確認する。
- 5) 配線の接続は、確実に行い接触不良を起こさないこと。過負荷、接触不良は、過熱、発火の原因になる。

【事故例】

- 配電盤の端子と電気機器の配線が緩く締め付けられていただけなので発熱し、端子が溶けて発煙した。
- コンセントに電気ストーブおよびいくつかの測定機器をつけ使用していたところ、気がつくと過負荷のためコンセントが発熱し溶けかかっていた。



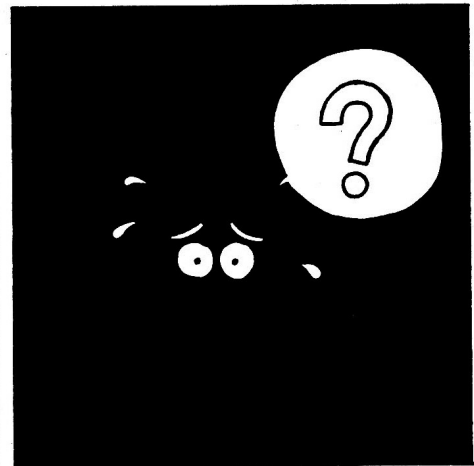
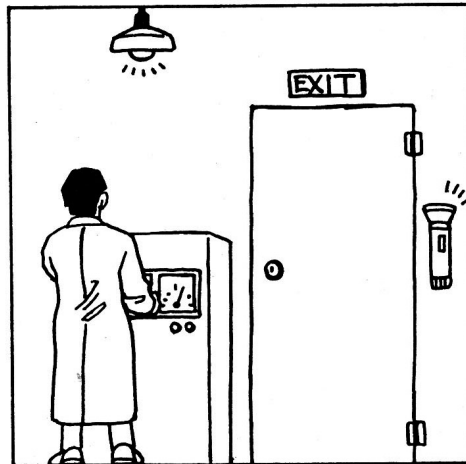
5. 停電に対する注意

電気機器の保守・管理は、一般には年に何度かの停電が避けられないのが現状である。したがって、

- 1) 生命維持装置や冷却による防爆など、不慮の停電により大きな災害をもたらすおそれのある電気機器ないしはシステムの電源については、特別の配慮が必要となる。すなわち、電源の信頼性の向上ならびに予備電源の設置と相互の迅速な切り換えなどについて万全を期すべきである。
- 2) 古い排気装置など回転機を含む装置では、停電した後の再通電(復電)時に負荷が過大で、回転機が自力で回転を開始できない場合がある。このような場合、発熱から火災を起こすおそれがあるので注意が必要である。一般に、夜間などに人のいない部屋で終夜運転の必要な装置(電気炉、排気ポンプなど)には、これら装置ごとに無電圧リレー等の安全回路を設置する。関連して、停電後の再通電時にスイッチがオンのままでは不都合が生じる装置の場合、停電前にあらかじめスイッチを切っておくか、再通電前に手動でスイッチを切っておく必要がある。停電時に自動的にスイッチが切れ、再通電後には改めてスイッチを入れ直すような機構を導入することが望ましい場合もある。
- 3) 夜間突然に停電して暗闇となっても対処できるように分かりやすい所に懐中電燈を常置しておく必要がある。建物や地区全体で停電した場合、窓の外からの漏れ光も全く期待できず、真に暗闇となるので注意すべきである。停電時に自動的に点燈する非常燈を設置できれば安心である。

【事故例】

- 3相モーターを運転中何らかの原因で1相のヒューズが溶断した。次回に運転する際、3相モーターのスイッチをオンにしたものの、回転を確認せずに放置したため、モーター内部のコイルに過電流が流れて焼損した(3相モーターは1相が欠けると回転しない)。



VI. 強磁場実験の安全のために

VI. 強磁場実験の安全のために

1. はじめに

1911年にオランダの物理学者カマリン・オネス(1913年にノーベル物理学賞を受賞)によって超伝導現象が発見され、その後の超伝導材料の研究開発が進められた結果、超伝導線材をコイルにした電磁石(超電導電磁石、超伝導マグネットとも言う)が飛躍的な進歩を遂げた。当初は発生させた強磁場^{*1}下における物性的な物理研究が中心であったが、その後、強力な電磁石を応用して各種分野での新しい技術革新を生み出した。例えば、交通輸送分野では超伝導^{*2}リニアモーターの実用化や、核磁気共鳴を利用したNMR装置による高分子の解析、さらには画像処理システムと組み合わせたMRIあるいはMRI-CTといった分析装置や医療診断装置などが発展した。

ここでは、この超伝導マグネットを用いた実験装置を使用する場合の注意点についてまとめる。

2. 強磁場に対する注意点

超伝導マグネットを使うにあたり、使用者はもちろん装置のまわりにいる全ての者が気を付けなければならないこととして、周囲への磁場の漏れがある。超伝導マグネットが収納されている容器は磁気的な遮蔽がされているものの、周りにはかなり強い磁場が漏れ出ている。このため、磁束密度が500マイクロテスラとなる範囲を白線で示したり、プラスチック製(強磁場によって引き付けられることない素材による)の囲いを設けたりするなど安全対策を取るべきである。強磁場が人体に直接的に及ぼす影響はあまり明確ではないが、なるべく強磁界に近づくことは避ける方がよいと思われる。なお、心臓のペースメーカー等をつけている場合は、500マイクロテスラ以上で誤作動することが知られているので、上述の範囲に決して入ってはならない。

強磁場により、磁気的な記録(キャッシュカード、クレジットカード、学生証など)が消失するので、これらのカード類は身につけず、磁場の影響を受けないところに保管して、実験作業を行う必要がある。また、機械式の時計など金属を用いた精密機器は、部品が強磁場に引かれたり、帯磁したりすることにより正しく動作しなくなるので、同様に身につけず実験を行う。また、一部の電子機器(最近だと、磁気センサー(方位センサー)を内蔵するスマートフォンなど)も磁場による影響を受けるので要注意である。

当然のことながら鉄などの強磁性体が近くにあると強い力で磁石の方向に引き寄せられるため、近くに鉄製部品が用いられている台(車輪がついていて容易に移動するものは特に注意)や液体窒素容器、スパナなどの小道具等を置いてはいけない。さらに、誤って近づけないために実験装置のデューワーのまわりを木製の板でおおうなどの安全対策も有効である。

【事故例】

- 超伝導マグネットを用いて強磁場を印加しながら電気測定を行っていた。試料に対して更に電圧を印加するため、普段は使っていない電圧源装置を実験室に持ち込み、置場がなかったため、超伝導マグネットの近くの台上に置いてしまった。暫く実験を続けていると、突然ドン! という大きな音とともに、超伝導マグネットが入っているクライオスタット(低温維持装置)が大きく揺れた。見ると、先ほど持ち込んだ電圧源装置が強磁場に引き付けられてクライオスタットの下の部分に張り付いていた。
- 超伝導マグネットを用いて強磁場を印加しながらの光学測定を行っていた。徐々に磁場強度を上げていったところ、少し離れたところに置いてあった金属片が引き寄せられて飛んだ。この金属片は光学測定用の窓材部分に当たり、窓が割れ、液体ヘリウムが満タンに入っていた容器の真空断熱層の真空を破った。これにより、低温を維持できなくなった容器から液体ヘリウムが急激に気化し、実験装置のありとあらゆる穴の部分から白煙の如く噴き出し、実験室内が白い冷気で覆われた。また、寒剤としての液体ヘリウムが失われたので、超伝導マグネットは超伝導を維持できず、コイル内部に蓄えられていた電磁気的なエネルギーを電気系統部へ放出した。これにより電極や電線などの部材が焦げた。

3. クエンチに関する注意点

超伝導状態になっている材料において、突然、種々の理由により超伝導が消失する現象が知られている。これをクエンチという。発生原因はいろいろあり、超伝導マグネット自体が発生する磁場により超伝導を破壊するケース、局所的な発熱などにより結晶レベルでの超伝導破壊が発生し、これが連鎖的に線材全体へと広がるケースなどさまざまである。このクエンチは、ある条件を守っていれば発生しないという現象では無く、必ずある割合で発生することが知られている。一般に、市販されている実験装置の場合、実用に耐えうる発生頻度になるように仕様(発生させる最高磁場強度や超伝導材料に流す最大電流値など)を定めているが、発生確率が0になっている訳ではないので、超伝導マグネットを使用する者は常にクエンチのことは念頭に置くべきである。なお、クエンチの前兆を捉えて、超伝導材料を流れる電流値などを制御して、クエンチを回避させる装置なども開発されているが、大学で使用するような実験装置には通常組み込まれてはいない(学内の実験装置では、クエンチ発生時、超伝導マグネットを焼損から守るための保護回路が付いているケースは多い。自分が使用している実験装置の安全機構については、各自で取扱説明書などを確認すること)。

クエンチ発生により線材は超伝導状態から通常の電気伝導状態に遷移する。すなわち、電気抵抗が再度発現するため、超伝導線材を流れていた電流は急激に熱へと変換されていく。この発生したジュール熱は、超伝導マグネットを冷却している液体ヘリウムに伝わり、ヘリウムの急激な気化を誘発する。このため、実験装置の寒剤供給口などから極低温の気体ヘリウムが噴き出すこととなる。このことを踏まえて、クエンチに対す

る注意点をまとめる。

- 1) クエンチ発生時の初期対応(避難を伴うならば避難経路など)や連絡方法などは実験を始める前に関係者で確認しておく。
- 2) クエンチ発生時の急激なヘリウム気化により、実験装置の内部が高圧力になったとしても装置が破裂することがないように、通常は気体ヘリウムの逃がし口や安全弁などが設けられているはずである。自分が使っている実験装置の安全機構について正しく理解すること。また、普段から、この安全機器を塞がないようにすること。また、手作りの実験装置の場合には、装置設計時に十分な逃がし口を設けるなど、各自で安全対策を講じておくこと。
- 3) 気体ヘリウムの逃がし口からは極低温のガスが噴出するので、逃がし口が向いている方向では実験作業をしないこと(通常は天井の方向にガスが噴き出すように設計されている。横向きにガスが噴き出すタイプは要注意)。
- 4) 実験室が狭く、気密性の高い部屋で装置を使う場合には部屋の換気に十分気をつけ(クエンチしない状態でも寒剤は常に少しずつ蒸発している)、場合によっては強制的な換気装置を動作させながら実験すること。
- 5) できるだけクエンチを避けるために、常に液体ヘリウムの残量(液面高さ)には注意する。場合によっては、液体ヘリウムの残量不足を自動的に検知して警告したり、超伝導マグネットの励磁を解除する安全装置なども検討すること。

【事故例】

物性測定を行うために、超伝導マグネット付きの実験装置に液体ヘリウムを充填し、マグネット電源を接続して、電流を流し始め、マグネットの励磁を始めた。徐々に電流値を上げていき、まもなく実験予定の磁場強度に達すると思った瞬間、突然クエンチが発生し、ヘリウムが白い煙となってもくもくと吹き出し、実験室中が雲海状態になった。

この後で確認すると、先輩から受け取った超伝導マグネットに関する電流値-磁場強度の換算表が2枚あり、実験中に見ていた換算表は別の実験装置のものであった。このため、定格以上の電流をマグネットに流したためにクエンチを引き起こしたことが分かった。

- ※1 英語でいうところの magnetic field であるが、日本語では、物理学の分野では「磁場」と呼び、電気工学の分野では「磁界」と呼ぶ。用語が異なるだけで同じものを指す。
- ※2 英語でいうところの superconductivity であるが、日本語では一般に「超伝導」と表記されることが多い。しかし、電気伝導はゼロになるものの、熱伝導まではゼロにならないので「超電導」という表記も用いられる。「超電導」は主に電気工学や低温工学の分野で使用され、経済産業省でも多用される。ちなみに、JR東海は「超電導リアモーターカー」である。なお、文部科学省主導で編纂している『学術用語集』では「超伝導」である。

VII. レーザー実験の安全のために

VII. レーザー実験の安全のために

1. はじめに

レーザーとは、特定の物質に人工的に光や放電などの強いエネルギーを与えて励起させ、それが元の状態に戻るときに発生する電磁波を制御された誘導放出の過程により増幅させたものをいう。名称はLight Amplification by Stimulated Emission of Radiationの頭文字を取ってレーザー (LASER)と名付けられた。レーザー光は180nmから1mmまでの波長域にあり、電磁波としての波面がそろい、指向性にすぐれ、エネルギー密度が高く、波長領域は真空紫外、紫外、可視、赤外、ミリ波におよぶ。

一般に、レーザー光は生体に吸収されやすく、吸収された光エネルギーが過剰な場合には生体組織を破壊する原因となる。しかしながら、レーザー光にはX線やγ線などの放射線が生体を透過するといった性質はなく、いわゆる蓄積効果もないとされている。つまり、レーザー光による傷害は主として皮膚や目に起こる^{1・2)}。

2. レーザーの種類

レーザーは一般的に、そのレーザー光を発生させる媒体物質の名称を付して呼ばれる。例えば、ヘリウムとネオンの混合気体を媒体物質とするものはヘリウムネオンレーザーと呼ばれる。これらのレーザーは媒体の状態により、気体レーザー(ガスレーザー)、液体レーザー、固体レーザーと種類分けされている。また、半導体中における電子・正孔の再結合発光を利用したものは半導体レーザーと呼ばれる。また、放出する光の波長領域によって、赤外線レーザー、可視光レーザー(赤色レーザー、青色レーザー等)、紫外線レーザーなどと呼ばれることもある。さらに、放出するレーザー光がパルス状のものをパルスレーザー、連続的に発光するものを連続波(CW)レーザーという。

表1に大学の研究活動でよく使用されるレーザーの一覧を示す。安全上、使用するレーザー装置がどのような種類のレーザーであるのかを正しく認識することは極めて重要であるため、各自で装置の取扱説明書などで確認する必要がある。

表1 主なレーザーの種類

種類	波長(μm)	出力	
		連続	パルス
ガスレーザー	He-Ne	0.63	1 ~ 50mW
	CO ₂	10.6	10 ~ 5000W
	Arイオン	0.51	0.5 ~ 5W
		0.48	5 ~ 20mW
	エキシマ	0.2 ~ 0.4	—
固体レーザー	YAG	1.06	10 ~ 500W
	ルビー	0.69	—
	ガラス	1.06	—
液体レーザー	色素ローダミン6G	0.5 ~ 0.65	0.1 ~ 10W
半導体レーザー	GaAs系	0.64 ~ 3.1	1 ~ 10mW

3. レーザーに関する安全基準

レーザーに関する安全基準としては、日本工業規格 JIS C 6802 の「レーザ製品の安全基準」が定められている。この規格は国際電気標準会議が定める国際規格 IEC 60825 シリーズの第1部「レーザ製品の安全性—機器の分類及び要求事項」(IEC 60825-1) に準拠している。なお、この規格は目及び皮膚に対するレーザー放射の危険性を対象にして策定されている点に注意すべきである。レーザー機器はレーザー放射による危険性に加えて、火災や感電のようなその他の危険を生じる恐れがある。また、厚生労働省より労働安全衛生の観点から「レーザー光線による障害防止対策要綱」というガイドラインが示されている。

4. 危険度による分類

レーザー光の危険度は、基本的には人に傷害を与える可能性により評価される。その危険度により、大きく4段階、細かく7つのクラス1、1M、2、2M、3R、3B、4に分類されている。各クラスについて簡単に表2にまとめる。なお、各クラスの被ばく放出限界(AEL)の詳細な規定などについては日本工業規格 JIS C 6802 を参照のこと。

表2 レーザー装置のクラス分け

クラス1	人体に障害を与えない低出力のもの。(例: He-Ne レーザーで0.39mW以下)
クラス1M	光学機器を用いてレーザー光を集光し観察すると危険であるが、裸眼での観察はクラス1と同じく安全。
クラス2	可視光レーザー(波長400～700nm)で、人体の防御反応(目の瞬き、頭の回避行動)により障害を回避しうる程度の出力。(可視光出力でCW1mW以下)
クラス2M	可視光レーザーに適用され、人体の防御反応(目の瞬き、頭の回避行動)により普通に使えば安全。光学機器(双眼鏡又はルーペなど)を用いて観察すると危険。
クラス3R	直接のビーム内観察は潜在的に危険。可視光(400～700nm)のレーザーはクラス2の5倍の出力。それ以外の波長のレーザーは、クラス1の5倍の出力。
クラス3B	直接又は鏡面反射によるレーザー光線の暴露により、目の障害を生じる可能性があるが、拡散反射によるレーザー光線に暴露しても目の障害を生じる可能性のない出力(おおむねCWで0.5W以下)
クラス4	拡散反射によるレーザー光線の暴露でも、目や皮膚に損傷を与える可能性のある出力(おおむねCWで0.5Wを超える)のもの。

5. ラベル

すべてのレーザー装置には、危険度による分類に従ったラベルを貼り付けなければならない。そして、このラベルにはクラス別に定められた記入文字が印字されている。具体的な説明ラベルの例を図1に示した(ラベルに関する詳細な規定については日本工業規格 JIS C 6802 を参照のこと)。レーザー装置にはこのようなラベルが貼り付けられているので、それを確認し、指示されている内容に従った取り扱いをしなければならない。なお、大学ではレーザー装置を自作することもあるが、その場合にはラベルを貼り付けていないケースが多いため、このようなレーザー装置を用いて実験を行う者は十分に留意すべきである。

クラス1 レーザー製品



図1 レーザー装置の説明ラベルの例

6. 生体への影響

目を除けば、生体組織は光に対し不透明で、内部には浸透しないため、レーザー光の生体に与える影響は人体の上皮組織に限られる。目においては、角膜を透過した可視光は水晶体のレンズ作用により網膜上に集光される。レーザー光はその波長程度の小さなスポットに集束されるので、そのエネルギー密度は非常に高く、網膜が焼損され、視力傷害に至ることも考えられる。目と皮膚が過度なレーザー光にさらされた場合の病理的影響の一覧を表3にまとめる。レーザー光の波長に応じた注意が必要である。

その他、一般にレーザー装置には高圧電源が用いられ、その電圧が50kVに達する場合もある。特に、大出力のレーザーシステムでは電源容量も大きくなり、感電あるいはX線発生等による人体への影響も考える必要がある。さらに、フラッシュランプ等管球類の破裂等による事故についても配慮が必要である。レーザー媒質用のガス類、あるいは使用する薬品についてもそれぞれ人体に影響を与えるものがあるので、取り扱いについては事前に十分調査し、処置が必要である。

表3 過度なレーザー露光を受けた場合の生体障害

CIE 波長領域	目	皮膚
紫外 C (UV-C) (100 ~ 280nm)	角膜障害	紅しん(疹)(日焼け) 皮膚老化の促進 色素の増加
紫外 B (UV-B) (280 ~ 315nm)		
紫外 A (UV-A) (315 ~ 400nm)	角膜障害, 白内障	色素の黒化 光による反応
可視 (VISIBLE) (400 ~ 780nm)	網膜損傷	
赤外 A (IR-A) (780 ~ 1400nm)	網膜損傷, 白内障	
赤外 B (IR-B) (1.4 ~ 3 μm)	角膜障害, 白内障	火傷
赤外 C (IR-C) (3 μm ~ 1mm)		

(注1) CIE(国際照明委員会)によって定義される波長領域は、生体学的影響を記述するのに便利である。これは、JIS C 6802のMPE表に示してある波長と切り目は完全には一致していない。

7. レーザー保護めがね

目は、皮膚に比べるとはるかにレーザー光に対して弱く、また、障害を受けると視機能の回復がよくないことが多い。レーザー保護めがねの着用は、眼障害を防ぐ安全なレーザーの取り扱いの第一歩であるが、むやみに濫用又は過信をしてはならない。使用機器、環境の整備及び安全教育が十分行われた後、なお安全性に足りない場合に用いられるものである。

使用する保護めがねは、適切な光学濃度、強度が必要であり、その選択が十分に行われるための情報が保護めがねに表示されていなければならない。光路調整が必要となる実験において高い光学濃度を持つ保護めがねを準備しても、レーザーの光路が見えづらく、最終的に誰も保護めがねを使わなくなってしまうようでは意味を成さない。光路が見えるように低い光学濃度の保護めがねでは、目を保護する能力が下がる。このため、各自の取り組む実験に合った適切な保護めがねの選択が非常に重要である。

さらに、複数の機器、波長を使用するため、複数の保護めがねが必要な場合、誤用を防ぐ設備、教育が不可欠である。

レーザー保護めがねの必要な光学濃度の選定の簡易方法を表4にまとめた。

表4 保護めがね選定の簡易方法

Q-スイッチレーザー (1ns~0.1ms)		非Q-スイッチレーザー (0.4ms~10ms)		連続波レーザー-瞬時 (0.25~10s)		連続波レーザー-長時間立 上がり (3hより長く)		減 衰	
最大出力エ ネルギー J	最大ビーム 放射露光 J/cm ²	最大レーザー 出力エネル ギー J	最大ビーム 放射露光 J/cm ²	最大パワー 出力 W	最大ビーム 放射照度 W/cm ²	最大パワー 出力 W	最大ビーム 放射照度 W/cm ²	減衰率	必要な光学 濃度 D _A
10	20	100	200	10 ⁵ (NR)	2×10 ⁵ (NR)	100 (NR)	200 (NR)	100,000,000	8
1	2	10	20	10 ⁴ (NR)	2×10 ⁴ (NR)	10 (NR)	20 (NR)	10,000,000	7
10 ⁻¹	2×10 ⁻¹	1	2	10 ³ (NR)	2×10 ³ (NR)	1	2	1,000,000	6
10 ⁻²	2×10 ⁻²	10 ⁻¹	2×10 ⁻¹	100 (NR)	200 (NR)	10 ⁻¹	2×10 ⁻¹	100,000	5
10 ⁻³	2×10 ⁻³	10 ⁻²	2×10 ⁻²	10	20	10 ⁻²	2×10 ⁻²	10,000	4
10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	10 ⁻³	2×10 ⁻³	1	2	10 ⁻³	2×10 ⁻³	1,000	3
10 ⁻⁵	2×10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	10 ⁻¹	2×10 ⁻¹	10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	100	2
10 ⁻⁶	2×10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	2×10 ⁻⁵	10 ⁻²	2×10 ⁻²	10 ⁻⁵	2×10 ⁻⁵	10	1

備考1. この表では、必要な光学濃度 (D_A) は、最小要求値かそれより大きい値である。

2. NR- これらの出力パワーのレベルは、目の保護のために用いられる減衰材料を損傷又は破壊する。

また、皮膚もこれらのレベルで保護を必要とするため、表3に与えられた光学濃度の保護めがねを装着するだけの安
予防対策は、これらのレベルでは、管理手段として推奨できない。

8. 安全の確保

レーザー機器の安全使用には、少なくとも下記の事項を心がけておかなければなら
ない。

- (1) レーザー光の危険度について教育され、十分認識をもっている者のみが、レーザー
を操作すること。
- (2) 不必要な方向に飛ぶと予想されるレーザー光の光路には、遮蔽物を置き(図2)
レーザー光路近くの可燃物を撤去(図3)すること。
- (3) レーザー光を飛ばす光路は目の高さを避け、鏡面反射をレーザー光路の近くに持
ち込まないこと(図4)。
- (4) レーザー光を飛ばす光路はレーザーが作動していなくても、これらをのぞき込まな

いこと(図5)。誤ってレーザーが作動するかもしれないからである。ビーム光路にはなるべくカバーをかけ、レーザー光が人体(特に目)に当たる危険性を減少させること。

- (5)レーザー光を用いた光学調整は、レーザー光の強度を可能な限り下げて、できるだけ明るい所で行い、拡散反射で安全観察すること(図6)。暗い所では瞳孔が大きく開くため、明るい所でレーザー光を受けた場合より網膜に到達する光量が多くなり危険である。
- (6)レーザーの作動を開始する時には、必ず他の人に声をかけて注意をすること。特に大型のレーザーシステムでは、ブザーや回転灯等を利用し、互いに注意し合うこと。
- (7)看板、立札、警告ラベル、説明ラベル等により、レーザーが設置されていることや、作動中危険であること等を明示し、その場所に近づく人に注意を喚起すること。
- (8)クラス3B, 4のレーザーの操作・使用の際には、必ずそのレーザーの波長にマッチした保護メガネを使用すること(図7)。
- (9)※レーザーの安全運転のため、傷害に対する予防策を調査し、適切な管理を行うため、クラス3R, 3B, 4のレーザー使用現場には安全管理者を置く必要がある。
- (10)※クラス3R, 3B, 4のレーザーの操作をする人は、その安全操作のための教育を充分受けなければならない。

※ この項目については、厚生労働省が労働安全衛生の観点から制定した「レーザー光線による障害防止対策要綱」によるものである。この要綱では「ただし、当分の間、医療用及び教育研究機関における教育研究用のレーザー機器を用いて行うレーザー業務については適用されない」とされている。しかし、一般的な安全管理の観点から安全に係る管理者を定め、装置を扱う者に対する安全教育を研究室等において実施すべきである。

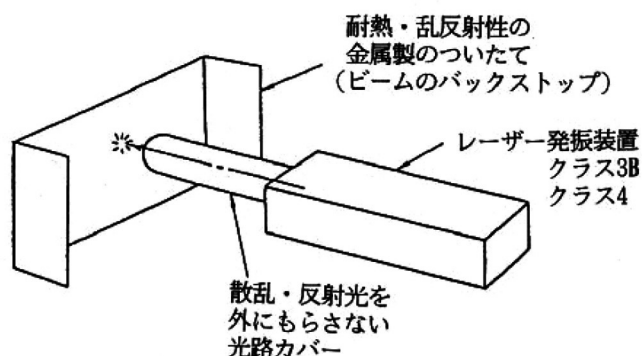


図2 ビーム遮断器の設置¹⁾

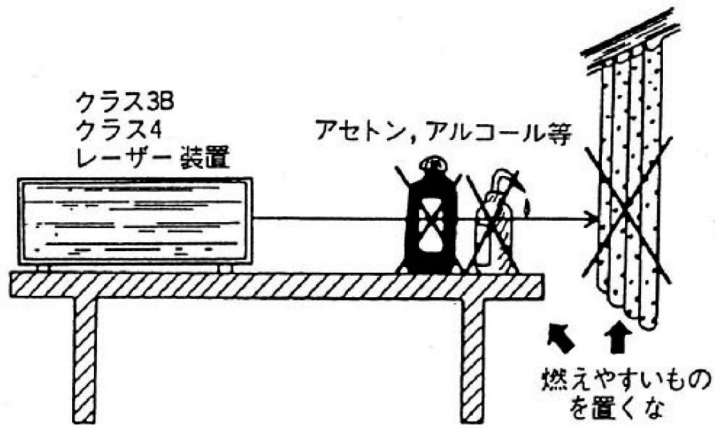


図3 レーザー光路近くの可燃物撤去¹⁾

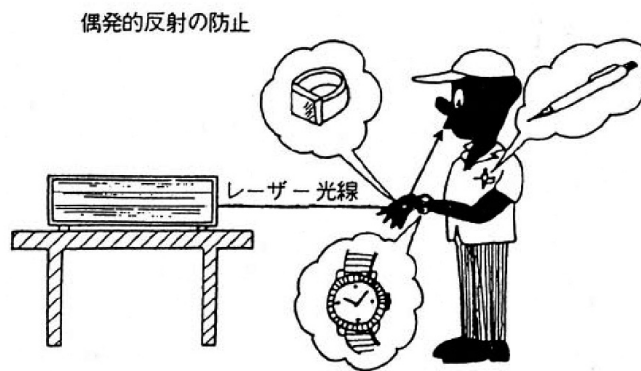


図4 鏡面反射をレーザー光路の近くに持ち込まない¹⁾



図5 レーザービーム内観察条件は3Bでは危険¹⁾(直接光、鏡面反射光共要注意)

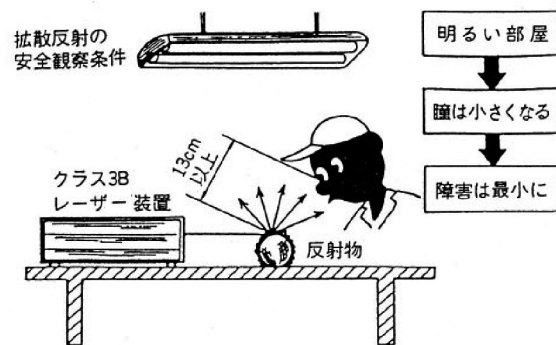


図6 拡散反射の安全な観察限界¹⁾

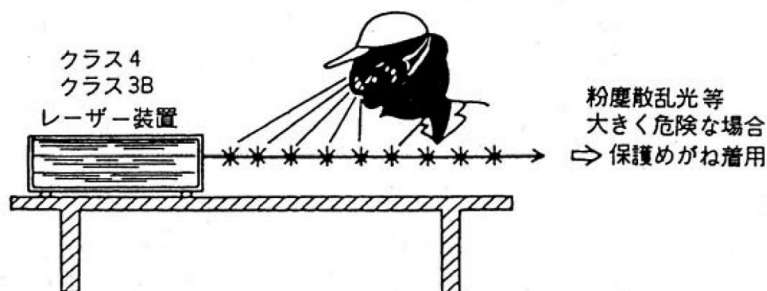


図7 ビーム外観察でも強力なクラス3Bレベル以上の散乱条件では保護めがねを着用する¹⁾

9. レーザー装置に付随する危険性

レーザー機器は目及び皮膚に対するレーザー放射の危険性に加えて、付随する危険性についても理解をしておくべきである。以下に主な危険性を列挙する。

圧縮ガス…主に気体レーザーにおいて発振媒体の原料として高圧ガス容器(ボンベ)が使用される。これらの注意点について高圧ガスのページを参照のこと。

液体寒剤…非常にまれであるが、レーザーの冷却材やガスの発生源として液体窒素のような液体寒剤が使用される場合がある。これらの注意点について高圧ガスのページを参照のこと。

換気…レーザー機器を金属の溶接や切断で使用する場合、発生するヒューム(固体物質の蒸気が凝固するなどして生じた微小な固体粒子で空气中に浮遊するもの)は鉱物性粉塵となるため長時間の吸引はじん肺を引き起こす。局所排気装置の設置や粉塵マスクの着用が必要である。ヒュームの許容濃度は $20\text{mg}/\text{cm}^3$ 以下と規定されているが、有害成分による影響などを考慮し、十分な換気と作業環境の管理を行うべきである。

電離放射線…レーザーの発生や使用、あるいは、レーザー使用に伴う副次的な作用(例えば、高エネルギーをもつレーザーの照射を受けた物質がプラズマ化するなど)により電離放射線が発生することがある。このような場合の注意点については放射線のページを参照のこと。

10. 日本でのレーザーによる眼障害例

表5に示すように、1995年までに26例の眼障害が知られている。最近特に、YAGレーザー(波長 1064nm)光とチタンサファイアレーザー(中心波長 800nm)光を直視する事故が多発しているので、注意を要する。初心者にも熟練者にも事故は起こっており、繰り返しの教育、保護設備の充実が事故防止には重要である¹⁾。

【事故例】

レーザーを液体資料に当て光のスペクトルを測る際、試料を入れた容器にレーザーが反射し目に当たり、網膜が傷ついた。原因は、通常の調整範囲を超えた大きな調整にもかかわらず、レーザーを照射しながら調整を行ったこと、及び保護メガネをかけていなかったことが原因である。

表5 日本でのレーザー光による事故例¹⁾

症例	職業	年齢	使用レーザー	受傷年	最終視力
1	大学講師	34	ルビー	1965	1.5
2	研究員	35	Ar	1973	1.2
3	研究員	35	YAG	1975	0.06
4	大学院生	25	YAG	1979	1.2
5	研究員	30	YAG	1980	0.8
6	大学院生	23	YAG	1982	0.3
7	研究員	31	YAG	1982	0.1
8	技術員	24	Ar	1982	0.2
9	大学院生	26	YAG	1983	0.1
10	大学生	22	YAG	1984	0.6
11	研究員	23	YAG	1984	1.2
12	研究員	43	YAG	1987	0.1
13	技術員	43	Ar	1988	0.9
14	技術員	26	Ar	1988	0.9
15	研究員	32	YAG	1989	1.2
16	大学院生	24	YAG	1990	1.5
17	技術員	35	Ar	1991	1.2
18	研究員	30	YAG?	1991	1.2, 1.0
19	研究員	30	チタンサファイア	1992	0.5
20	大学院生	29	YAG	1992	1.0
21	研究員	20	エキシマ	1992	0.6, 0.9
22	大学院生	24	YAG	1993	1.0
23	研究員	28	YAG	1993	0.2
24	(研究員)	36	チタンサファイア	1995	0.04, 0.06
25	(研究員)	37	チタンサファイア	1993	0.15, 0.15
26	(研究員)	34	YAG	1995	0.8

参考資料

- 1) 「レーザー安全ガイドブック」(通産省工業技術院監修、光産業技術振興協会編、新技術コミュニケーションズ、平成4年)(図書転載許可済)；同第3版(2000年)。
- 2) 「レーザーの安全性」レーザーハンドブック(レーザー学会編、オーム社、1982年) 827～839頁。
- 3) 日本工業規格 レーザー製品の放射安全基準 JIS C6802.
- 4) Laser and Eye Safety in Laboratory : L. Matthews & Gareia SPIE Press Vol PM19 December1994.

VIII. 高圧ガス・液化ガスを安全に取り扱うために

VIII. 高圧ガス・液化ガスを安全に取り扱うために

1. はじめに

大学においては教育、研究上しばしば高圧ガスや液化ガスを必要とする。ガス使用時の状態が高圧でなくても、ガスそのものは高圧ガスボンベに充填された「高圧ガス」で供給されることが多い。また装置や試料の温度を下げるために、液体窒素、液体ヘリウム、ドライアイス等の寒剤を利用することが多い。しかし、たとえば、寒剤を密閉容器に入れたまま放置すると、まわりの温度で寒剤が暖められて気化し、密閉容器内に高圧が発生し、容器が破裂し事故に至る恐れがある。気化したガスが室内に放出されると、酸欠状態になって中にいる人が死に至ることもあり得る。また、ガス自体の性質にも注意が必要である。可燃性ガス(水素、メタン、アンモニア、一酸化炭素、アセチレンなど)や毒性ガス(塩素、アンモニア、一酸化炭素、ジボランなど)の扱いにも注意が必要である。酸素や高圧の空気は「支燃性ガス」として扱いに注意が必要である。一方、高圧ガス保安法では罰則の適用があり、大学および高圧ガスの有資格者等の指示に従って、適正に高圧ガスを扱わなくてはならない。たとえば、1MPa以上の圧力を新たに発生する場合(高圧ガスボンベから導入したガスを1MPa以上の範囲で加圧・減圧する場合も該当)は、高圧ガス製造に該当するため、資格の取得と設備の届け出が必要である。しかし、多くの利用者は高圧ガスの資格や十分な経験を持っているとは限らない。このような状況であるが、学内では高圧ガスや寒剤を様々に利用していることから、その安全な利用を推進し、事故を未然に防止するために本手引は書かれている。

2. ガスの性質

実験室では実にさまざまなガスが使用されている。これらの使用目的はガスの化学的性質を利用する場合、ガスの持つ圧力を必要とする場合、また液化ガスの持つ低温が必要な場合など多様である。そのガスが研究室に置かれているとき、気体状態にあるもの、液体状態にあるもの、固体状態(実用上はドライアイスのみ)にあるものなどがある。

本手引きの「薬品の安全な取り扱いのために」ではガスの化学的性質に起因する危険性について述べられているが、ここでは高圧ガスという立場でまとめて取り上げる。

実験室でよく使用される圧縮ガスについてその化学的性質のうち安全に直接関係する性質が表1-1にまとめられている。また表1-2には寒剤としてよく利用される低温液体の物理的な性質がまとめられている。

表1-1および表1-2の項目について若干の補足しておく。

(1) 比重……空気中にガスが洩れたとき空気との比重によって換気方法を定めることができるので、0℃、1気圧の値を記した。例えば水素ガスは軽いので天井のくぼみに溜まったり、それが階上の研究室に洩れて引火して爆発し、思わぬ損害をあたえるおそれがある反面、塩素は重いので下に流れ、階下の部屋にいる人に重大な被害を引き起こすおそれがある。単に自分の所ばかりではなく、広く注意をはらわなければならない。

(2) 可燃性……可燃性ガスは表中「有」印で示し、燃焼範囲が空気との混合比

(vol%)で示されている。一般的に爆発範囲とも呼ばれている。空気中でこの範囲のガスがあり、何らかの発火源があると燃焼(爆発)する。表中、「支燃性」とあるのは、酸素ガスのように、単独では空気と混合しても燃えないが、他の物質に触れて反応が爆発的に進む性質のあるガスを示す。

- (3) 毒性……法令(一般高圧ガス保安規則、コンビナート等保安規則)で毒性ガスとして名前が指定されているものを表中「有」印で示し、許容濃度を次の欄に示してある。この数字は1日8時間、1週40時間、この雰囲気中で仕事をしていても良い限界を示している。従って数字の小さい方が毒性が強い。また、法令で指定されていない物質でも毒性や窒息性のあるものがある。これらの許容濃度についても次の欄で示してある。また、毒性はないが、麻醉性を示す物についても示してある。
- (4) 三重点……液体、固体、気体の三相が共存できる点で一般に低温液体ではこの圧力まで減圧して液体の温度を下げるができる。
- (5) 沸点……液体を1気圧に保ったときに沸騰する温度である。これは液化ガスを寒剤として用いるときの基準温度である。
- (6) 臨界点……圧力をかけることによって気体から液体(または固体)に相変化をおこすことのできる限界を表わす。これ以上の温度ではいかに圧力を高めても液体とはならない。
- (7) 蒸発潜熱……1気圧下沸点において液体が蒸発するときの潜熱である。液体の蒸発速度を見積るとき必要となる。
- (8) 液体から気体への膨張比……1気圧で沸点における液体が気化して室温(300K ≒ 27℃)まで膨張したときのガスの膨張比である。

表1-1、表1-2にまとめられた性質からガスの持つ危険性を整理してその特徴と対策を以下にまとめる。

2-1. 可燃性

表1-1の可燃性の欄に「有」印をつけたものはすべて可燃性ガスである。空気中に漏れたときの燃焼範囲(vol%)が数字で示されている。特に注意したいことはガスの濃度の燃焼範囲の下限は非常に希薄なところ(水素で4%、プロパンで2.1%)にあることで、例えば、空と思われる容器であっても残留したガスに空気が混ざっていると、それに着火すれば爆発する危険性がある。燃焼範囲のうち、燃焼の速度が音速を越す範囲は特に爆轟範囲と呼ばれ、衝撃波を伴う激しい燃焼が起こり、周囲の物体は破壊される。例えば水素の場合、燃焼範囲は4～76%であるが、そのうち爆轟範囲は18～59%にある。

可燃性ガスによる爆発の危険性を避けるには、まず燃焼範囲のガスを作らないことである。ガス漏れを防ぎ、室内にガスが充満しないように常時換気に努める。万一大量のガスが漏れたときは窓を開け放って換気する。換気に当たってはガスの比重に注意し、軽いガスは上方を、重いガスは下方を中心に換気する。また、電気のスパークは着火源になるので(原因として最も多い)、電気スイッチの操作は絶対に行わない(防爆型スイッチは操作可能)。裸火はすみやかに消火する。一旦着火したときはガスの元バルブ

を閉じ、状況に応じて適切な消火器や水(化学反応に注意)で消火する。

ボンベ庫が整備されている場合は、高圧ガスをその中に貯蔵することが原則となっている。ボンベ庫の中に可燃性ガスと支燃性ガスを貯蔵する場合は、両者は区分けし、できるだけ離して配置すること。

2-2. 毒性

一酸化炭素、アンモニアや、炭化水素系の可燃性ガスなどは研究室で一般に使われる。それらのガスは毒性をもち吸入により人体に障害を及ぼす。万が一のために、使用するガスに応じた防毒マスクを常備しておくことが望ましい。これらの毒性ガスが器具の外に漏れるおそれのある操作を行う場合はドラフトチャンバー内で行う。万が一、ドラフトチャンバー以外の場所に毒性ガスが流出した場合は、廊下などに流出して二次被害が発生しないように注意しながら、換気扇等で屋外に排気し、安全な場所に退避する。近隣の人にも声をかけて退避するように促す。もしガスを吸い意識を失ったものがあるときは直ちに室外に連れ出し、気道の確保などの救命処置を行ない救急車を呼ぶ。毒性を示すガスのうち多くは同時に可燃性であるので、電気系統のスイッチ操作を行ってはならない。できれば換気装置等の電気系統は防爆構造が望ましい。なお、低濃度であっても常時使用する場合は慢性毒性の問題があるので、ドラフトチャンバーの管理を十分にを行い安全基準を満たすようにしなくてはならない(「薬品の安全な取り扱いのために」も参照すること)。また、特定化学物質を含む毒性ガスを放出する場合は、ドラフトチャンバーに排ガス処理装置(スクラバー等)を接続し、除害してから大気に放出しなければならない。

2-3. 酸素の支燃性

酸素ガス自体は可燃性ではないが、一見、燃えそうに思えないような金属パイプであっても、濃い酸素ガスに触れると着火して燃えだし危険である。特に酸素ボンベの口金にわずかでもグリースがついていると、バルブを急にあげたときの発熱で発火する恐れがある(パイプ内のガスが15MPaで圧縮されるとかなり高温になるので、バルブはゆっくりと開けることが操作の基本である)。開放型容器に液体窒素を入れていると徐々に酸素がその中に溶けこみ酸素の濃度が濃くなっていることもある。

空気中の酸素濃度は21%であるが、40%以上の状態を長時間続けると、肺障害を発生する恐れがある。

【事故例】

2008年、某大学にて酸素ボンベを操作中、減圧器の出口弁が吹き飛ぶ発火事故があり、作業員1名が火傷を負った。バルブを急激に開けたために温度上昇が起こり、中に付着していた金属片等の油分を含むごみが発火し爆発した可能性が高い。「3. 高圧ガスの取り扱い」でも説明するが、高圧ガスバルブを急激に開けることは非常に危険である。特に酸素ボンベのバルブ操作には注意が必要である。また「4. 低温液化ガスの取り扱い」でも述べるが、液体酸素も同様に危険であり、わずかであっても可燃物に触れさせてはいけない。

2-4. 酸素欠乏

酸素以外のガスが大量に室内に洩れると空気中の酸素濃度が低くなる。このため生命の維持が困難となる。空気中の酸素濃度は21%であり、人間にとって許される下限は18%で、特に10%以下では意識を失い、呼吸や心肺停止に至る。これは大量の不活性ガスを室内に放出したり、液化ガスを大量に蒸発させると起こる恐れがあり、21%の酸素濃度を維持するように換気しなければならない。

大型の超電導磁石のクエンチによって一時に大量のヘリウムガスが室内に放出される場合がある。その直後は酸欠状態になる。そこで、酸素欠乏状態が発生する恐れのある部屋には、その危険性を廊下入り口に掲示し、酸素濃度計を設置してその警報が鳴っている場合は入室しないように掲示すること。同時に、大きめの排気設備が自動的に作動するように設備を整えること。比較的小規模の超電導磁石を使っている場合や、気化した液体窒素が室内に放出される場合は、換気扇を常時作動させると共に、できるだけ酸素濃度計を設置して警報を鳴らすようにすることが望ましい。その場合も、廊下入り口には、警報が鳴っている場合は入室しないように掲示する。

その他詳細については、「9. 酸素欠乏対策」を読むこと。

2-5. 圧力の単位と高圧ガスの圧力範囲

ガスは通常圧力容器に高圧で貯蔵されている。高圧用機器の取り扱いについては次節にて詳しく説明される。高圧ガスを取り扱うときのポイントはガス圧の物理的な力に注意することである。表面積に比例して力が発生するので、低い圧力であっても大きい装置は圧力に対する注意を必要とする。高圧ガスではゲージ圧力を使用するが、これは絶対圧力ではなく、大気圧との差を示す。したがって標準大気圧はゲージ圧力では0MPaとなる。ゲージ圧力で1MPa以上の圧縮ガス、並びに液化ガスを容器に入れて0.2MPa以上で使用するときは、高圧ガス保安法の対象となる。なお、液化ガスの圧力とは一般的には飽和蒸気圧を指していて、それが0.2MPa以上の物性値をもつ液化ガスは高圧ガス保安法の対象となる。ただし、液化シアン化水素、液化ブロムメチル、液化酸化エチレンは飽和蒸気圧が0.2MPaに達しないが、法令により高圧ガスとして特に指定されている。法律に関する詳細は安全衛生管理部に問い合わせること。

圧力ゲージなどに表示されている圧力の単位は、法律により kg/cm^2 からMPa（メガパスカル）に変更されたため、 kg/cm^2 を使用している古い圧力ゲージなどは今後MPa表記に変更されていく。その際、 kg/cm^2 とMPaの単位換算は $1\text{kg}/\text{cm}^2 = 0.0980665\text{MPa}$ で行う。なお、1気圧は $1\text{atm} = 1.0332\text{kg}/\text{cm}^2 = 0.101325\text{MPa}$ なので、0.1MPaをほぼ1気圧と換算しても良い。

2-6. 低温

低温液化ガスに起因する危険性は2つあり、1つは人体に対する影響、もう1つは材料に対する影響である。人体に直接低温液体が軽くふれても普通はすぐに蒸発して特に障害とはならない。しかし、衣類（手袋、靴下など）に液体窒素などがしみこんだときは凍傷になるおそれがある。冷えていないデュワーに液体窒素を入れるときは、液体

が急に気化して上方に液体窒素を吹き上げる恐れがあるので、液体窒素を吸い込む軍手等は使用してはいけない(厚手の皮手袋を用いる)。また、水に濡れた手で低温部分に触れると凍り付いて離れなくなり、凍傷になるので、寒剤を扱うときは乾いた手で操作すること。凍傷になったときは温湯(37℃くらい)であたためた上、医師の手当をうける。一般に金属は低温になると脆くなる。一般用の鋼は低温脆性を起こす危険性があるので、低温になるところに使用してはならない。低温用に吟味された材質の鋼、アルミニウム、ステンレス鋼等の金属や、テフロン、ナイロン、ペークライト等の非金属は使用できるが、できるだけ事前に確かめてから使用する方が良い。

表1-1 一般的に使われるガスの性質*

ガス名	分子式	分子量 (g/mol)	比重 (空気との比)	可燃性と 燃焼範囲(vol%)	毒性	許容濃度 [†]	色	臭い
水素	H ₂	2.016	0.07	有 4~76		(ACGIH2001)	なし	なし
ヘリウム3	³ He	3.016	0.10			勧告値は示されていないが、ヘリウム4と同じと考えること	なし	なし
ヘリウム4	⁴ He	4.003	0.13			TLV: 単純窒息性ガス (ACGIH2003)	なし	なし
メタン	CH ₄	16.04	0.56	有 5~15		TLV: 脂肪族炭化水素ガス (アルカンC1~C4)として1,000ppm(TWA) (ACGIH2006)	なし	なし
アンモニア	NH ₃	17.03	0.59	有 15~28	有	25ppm (日産衛2013), TLV: 単純窒息性ガス (ACGIH2004)	なし	刺激臭
ネオン	Ne	20.18	0.70			TLV: 単純窒息性ガス (ACGIH2007)	なし	なし
アセチレン	C ₂ H ₂	26.04	0.90	有 2.5~100		TLV: 単純窒息性ガス (ACGIH2003)	なし	本来は無臭
シアン化水素	HCN	27.03	0.93	有 5.6~40	有	TLV: 4.7ppm(C); (皮膚) (ACGIH2003)	なし	特徴的臭気
一酸化炭素	CO	28.01	0.97	有 12.5~74.2	有	50ppm (日産衛2013), TLV: 25ppm(TWA) (ACGIH2007)	なし	なし
窒素	N ₂	28.01	0.97			TLV: 単純窒息性ガス (ACGIH2004)	なし	なし
エチレン	C ₂ H ₄	28.05	0.99	有 2.7~36	麻酔性	TLV: 200ppm(TWA) (ACGIH2005)	なし	芳香臭
エタン	C ₂ H ₆	30.07	1.05	有 3~12.5		TLV: 脂肪族炭化水素ガス (アルカンC1~C4)として1,000ppm(TWA) (ACGIH2006)	なし	なし
酸素	O ₂	32.00	1.11	支離性		TLVが設定されていない*	なし	なし
塩化水素	HCl	36.46	1.27		有	最大許容濃度 5ppm (日産衛2013), TLV: 2ppm(C) (ACGIH2004)	なし	刺激臭
フッ素	F ₂	38.00	1.31	支離性		TLV: 1ppm(TWA); 2ppm(STEL) (ACGIH2006)	黄緑色	生臭い臭気
アルゴン	Ar	39.95	1.38			TLV: 単純窒息性ガス (ACGIH2003)	なし	なし
二酸化炭素	CO ₂	44.01	1.52			5,000ppm (日産衛2013), TLV: 5,000ppm(TWA); 30,000ppm(STEL) (ACGIH 2006)	なし	なし
亜酸化窒素	N ₂ O	44.01	1.53	支離性		TLV: 50ppm(TWA) (ACGIH2004)	なし	なし
プロパン	C ₃ H ₈	44.10	1.52	有 2.1~9.5		TLV: 脂肪族炭化水素ガス (アルカンC1~C4)として1,000ppm(TWA) (ACGIH2007)	なし	本来は無臭
オゾン	O ₃	48.00	1.66	支離性	有	0.1ppm (日産衛2013), TLV: 0.05ppm(重労働 TWA); 0.08ppm(普通作業 TWA); 0.1ppm(軽作業 TWA); 0.2ppm(2時間以内作業 TWA) (ACGIH2009)	なし	特徴的臭気
ブタン	C ₄ H ₁₀	58.12	2.01	有 1.8~8.4	麻酔性	500ppm (日産衛2013), TLV: 脂肪族炭化水素ガス (アルカンC1~C4)として1,000ppm(TWA) (ACGIH2007)	なし	なし
塩素	Cl ₂	70.91	2.45	支離性	有	最大許容濃度 0.5ppm (日産衛2013), TLV: 0.5ppm(TWA); 1ppm(STEL) (ACGIH2009)	黄緑色	刺激臭
クリプトン	Kr	83.80	2.93			TLVが設定されていない*	なし	なし
キセノン	Xe	131.3	4.62			TLVが設定されていない*	なし	なし
六フッ化硫黄	SF ₆	146.1	5.04			TLV: 1,000ppm(TWA) (ACGIH2007)	なし	なし

*国際化学物質安全性カード(参考: 国立医薬品食品衛生研究所 <http://www.ihss.go.jp/ICSC/>); 日本産業衛生学会 (<http://www.sanei.or.jp/>)などを基に作成。

†日産衛は日本産業衛生学会が発行している許容濃度の勧告値。労働者が1日8時間、週40時間程度、肉体的に激しくなく労働強度で暴露される場合に、平均暴露濃度がこの数値以下であれば、ほとんどすべての労働者に健康上の悪い影響が見られないと判断される濃度。高圧ガス保安法などの国内法規では、この許容濃度をACGIHの勧告値などとともに具体的な指標としている。ACGIHはAmerican Conference of Industrial Hygienistsの勧告値。TLV (Threshold Limit Value) は毎日繰り返し曝露した時ほとんどの労働者に悪影響が見られないと思われたいとされる大気中の濃度。(C)として示された値は作業中での時点においても超えてはならない天井値を示す。TLVには以下のようなものがある。

TWA (Time Weighted Average: 時間加重平均値) = 毎日繰り返し曝露した時ほとんどの労働者に悪影響がみられないような大気中の作業濃度の時間加重平均値。労働時間8時間/日、40時間/週での場合の暴露は、15分を超えて繰り返してはならず、また1日4回以内でそれぞれ60分以上の間隔がなければならぬ。

STEL (Short Term Exposure Limit: 短時間暴露限界値) = TWAが許容濃度を超えても、労働者が作業中の任意の時間にこの値を超えて曝露してはならない。STELが設定されている場合の暴露は、15分を超えて繰り返してはならず、また1日4回以内でそれぞれ60分以上の間隔がなければならぬ。

* TLVが設定されていないと記載されている場合、この物質が安全であるという意味ではない。例えば、酸素は「酸素中毒」という症状が知られている。

表1-2 低温液体の物理的性質

液体	三重点		1気圧における 沸点	臨界点		蒸発潜熱 1気圧沸点	液体から 気体への 膨張比
	温度	圧力		温度	圧力		
	K	気圧	K	K	気圧	cal/g	沸点→300 K
ヘリウム-3			3.2	3.3	1.17	2.0	85
ヘリウム-4			4.2	5.2	2.3	5.5	780
e-水素	13.8	0.069	20.3	33.0	12.8	106.5	865
n-水素	13.9	0.071	20.4	33.2	13.0	107.1	867
o-重水素	18.7	0.17	23.5	38.3	16.3	68.4	1008
トリチウム	20.6	0.21	25.0	43.7	20.8	—	
ネオン	24.5	0.427	27.1	44.4	26.2	20.6	1470
窒素	63.1	0.127	77.3	126.3	33.5	47.7	710
空気	—	—	78.8	132.5	37.2	49.0	740
一酸化炭素	68.1	0.151	81.6	132.9	34.5	51.4	700
フッ素	53.5	0.002	85.2	144.4	55.0	39.7	965
アルゴン	83.8	0.68	87.3	150.9	48.3	39.0	860
酸素	54.4	0.0015	90.2	154.8	50.1	50.9	875
メタン	88.7	0.099	111.7	190.7	45.8	121.9	650
クリプトン	116	0.731	119.9	209.4	54.5	25.8	705
オゾン	80.7	0.000011	162.3	285.3	54.6	61.7	730
エチレン	104	0.0012	169.4	282.7	50.8	115.3	490
キセノン	161.4	0.816	165.1	290.0	58.0	23	560
炭酸ガス	216.6	5.11	194.7	304.2	72.8	36.2	790

3. 高圧ガスの取り扱い

高圧ガス取り扱いについての注意は、容器(ボンベ)に充てんされた高圧ガスを減圧して使用する場合と圧縮機を用いて高圧ガスを製造する場合等にわけられるが、ここでは実験室等において多く生ずる前者の場合について主に述べる。前者の高圧ガスを減圧して使用する場合で、減圧したガスが高圧ガスでない場合(多くの場合、1MPa未満)は、高圧ガスの消費に該当し、その総貯蔵量が法律で決められた量を超えると、第二種貯蔵所として行政庁に届け出る。さらに多くなると第一種貯蔵所として行政庁に許可申請を行わなくてはならない。また、前者の場合であっても、ボンベの外部に導いたガスが高圧ガス(多くの場合、1MPa以上)となる場合、および後者のように圧縮機で高圧ガスを発生する場合は、高圧ガスの製造に該当する。その場合は、その製造能力によって、基準より少ない量であれば第二種製造者の届出、基準より多い場合は第一種製造者の許可を行政庁に求めなくてはならない。いずれの場合も、申請あるいは許可については安全衛生管理部が窓口となるため、事前に安全衛生管理部に相談する必要がある。

「2. ガスの性質」にあげられたようなガスは、貯蔵や運搬の便宜上、ボンベ(シリンダー)と呼ばれる鋼鉄製の容器に圧縮されて入っている。通常はそのような高圧ガスを業者から購入して使用するのであるが、高圧ガスは一旦使用法をあやまると大きな事故につながる可能性がある。購入してから実際に使用するまでの注意を過程を追って述べていく。

3-1. 高圧ガス容器と刻印

高圧ガス保安法では容器(ボンベ)の証明方法として、刻印をすることができる容器については「刻印」を行うことが義務づけられている。刻印を行うことが困難な容器については「標章」を掲示する。所有者はこれらの表示と間違ふような、紛らわしい表示をしてはならない。また、刻印がなされた容器には容器所有者の氏名または名称、住所及び電話番号を明示しなければならない(この代わりとして、高圧ガス保安協会に氏名などを登録して付与される記号および番号を刻印してもよい)。

次に容器の再検査についてであるが、一般継目なし容器については5年に一度の耐圧試験が高圧ガス保安法によって義務づけられている。従って、容器自体を研究室で購入した場合には5年毎の耐圧試験(再検査)を専門業者に依頼しなければならないなど面倒なので、容器は業者から借りたほうが賢明である。溶接容器・超低温容器・ロウ付け容器の場合、20年未満は5年毎、それ以降は2年毎の再検査を行う必要がある。

ガスの使用量が少ないことがあらかじめ予測される場合には、小さな容器でガスを購入した方がよい。表2-1～4にいくつかのガスの種類とそれらの容器内容積の種類をあげておく。酸素、窒素などで最もよく使われている容器は、内容積が46.7ℓで150気圧(約15MPa)充てんのものである。このボンベから大気圧下で7m³のガスが取り出せる。

高圧ガスのボンベを廃棄する場合は、中のガスを安全に廃棄した上で、再使用ができないように穴を開けて屑化しなくてはならない。ただし、その作業には危険が伴うので、専門の業者に依頼すると良い。高圧ガスやその容器を紛失したり盗難にあったときは、速やかに監督行政庁または警察署に届け出なければならない。

表2-1 酸素ガス、水素ガス、メタンガス容器 【試験圧力 25.3MPa】
【常用圧力 15.2MPa】

容 量		外径 D [mm]	肉厚 t [mm]	長さ L [約 mm]	重量 バルブなし [約 kg]	底部形状
内容積 [ℓ]	ガス容量 [ℓ]					
6.7	1000	140	3.1	580	8.2	凹
10.0	1500	140	3.1	825	11.0	凹
13.4	2000	165	3.6	800	14.8	凹
20.1	3000	232	6.0	650	30.0	凹
40.2	6000	232	6.0	1190	46.0	凹
40.2	6000	232	6.0	1195	47.0	凹
46.7	7000	232	6.0	1365	50.0	凹
50.0	10000	232	6.8	1470	63.0	凹

※この他、多数有。ボンベはクローム・モリブデン鋼製かインター・マンガン鋼製である。

表2-2 炭酸ガス容器(試験圧力25.3MPa)

容 量		外径 D [mm]	肉厚 t [mm]	長さ L [約 mm]	重量 バルブなし [約 kg]	底部形状
内容積 [ℓ]	ガス重量 [kg]					
6.7	5	140	6	620	14	凹
10.0	7.4	140	6	910	20	凹
13.4	10.0	140	6	1160	25	凹
20.1	20.0	232	6.0	650	29	凹
40.2	30.0	232	6.3	1190	47	凹
40.2	30.0	232	6.0	1195	46	凹
46.7	35.0	232	6.0	1365	30	凹

表2-3 アンモニアガス容器(試験圧力6.1MPa)

容 量		外径 D [mm]	肉厚 t [mm]	長さ L [約 mm]	重量 バルブなし [約 kg]	底部形状
内容積 [ℓ]	ガス重量 [kg]					
33.5	18.0	204	5.5	1290	38	凹
40.0	21.5	204	5.5	1520	44	凹
40.0	21.5	232	6	1210	44	凹
46.5	25.0	232	7	1410	60	凹
80.5	43.0	267	7	1760	84	凸
93.0	50.0	267	7	2020	95	凸

表2-4 塩素ガス容器(試験圧力5.1MPa)

容 量		外径 D [mm]	肉厚 t [mm]	長さ L [約 mm]	重量 バルブなし [約 kg]	底部形状
内容積 [ℓ]	ガス重量 [kg]					
40.2	50	232	6.0	1190	46	凹
40.2	50	232	6.3	1190	47	凹
80.0	100	267	7	1760	84	凸
93.0	116	267	7	2020	95	凸

3-2. 運搬

容器(ボンベ)の運搬には、必ずキャップをつけて専用の運搬車を使用すること。容器置場(ボンベ庫)から実験室への容器の運搬は安全に十分注意し、乱暴な取り扱いをしてはならない。ガス販売店の専門スタッフがよくやるような容器をころがして運搬するのは一般人には非常に危険である。実験室の中で少し移動させるとき以外はしない方がよい。さらにボンベの一番弱いところがバルブであるため、運搬の際にはバルブを保護するために必ずキャップを付けること。なお、ボンベのガス出口の口金キャップを閉めずに、ボンベの元バルブの上に置いたままにし、ボンベのキャップを付けてしまい、次にボンベのキャップを取り外す際に、口金キャップがずり落ちて引っ掛かり、元バルブまで回してしまいガスが噴出する事故が発生している。ボンベのキャップを取り付ける際には、口金キャップを閉めることも忘れてはならない。

アセチレンおよび液化ガスの容器は絶対に横にしてはいけない。運搬路に障害がある場合は、その場所を管理している責任者や低温センターに相談すると良い。なお、寒剤専用の運搬車は低温センター等に常備されているので利用すること。なお、原則とし

て高圧ガスと一緒にエレベーターに乗ってはいけない。特に、寒剤を運搬しているときは、不意の停電などでエレベーターが停止した際には、気化したガスにより酸欠になる恐れがある。そのため、エレベーター内には同乗禁止の表示を行い、運搬にかかわっていない人が途中の階で同乗しないようにしなくてはならない。

3-3. 容器の保持

実験室等において容器を置くときは、法令により40℃以下が義務付けられているので、日陰で風通しのよいところを選び、また、暖房装置の吹出口や燃焼器具の近くは避けて、壁または床にしっかりと固定されたボンベ立てに鎖またはベルトでしっかりと固定すること。後から暖房器具が増設されるなど実験室内の状況が変化することがあるので、ボンベの固定場所として適正かについては常に気を付けること。ボンベをたるんだ鎖などで固定されている場合を見かけるが、効果がない。地震の際に下部から抜けて転倒するのを防ぐため、必ず上下2カ所を固定すること。これは阪神淡路大震災の際、1ヶ所だけをチェーン固定したボンベがチェーンをすり抜けて転げ回る事例が多発したため、大阪府など行政からの指導があり、現在は一般化したものである。実験のためにボンベを移動させて装置の横などに固定せずに使用するケースが見受けられるが、実験中にも地震が発生する可能性があるので、きちんと固定してから実験を開始すること。容器が10リットル未満の小さなボンベについては、1カ所を鎖またはベルトで固定するか、筒状の固定台を用いても良い。ただし、ボンベ運搬用の台車に固定した状態は高圧ガスを使用する際の固定方法とはならないので、台車から降ろして上記の方法で固定して使用すること。なお、ボンベ固定器具は建物の床や壁などにしっかりと固定、固定器具は十分な強度があるものを使用する。



良好事例(上下2点固定)

直接日光があたったり、ストーブのそばに置くと温度上昇に伴って圧力が上り、安全弁が破裂することがある。液化ガスでは、液体が吹き出すこともある。安全弁が破裂したときには近よらないで、圧力が下がるまで放置するのが無難である。可燃性ガスの場合はまわりの火気に気をつけ風通しをよくし、できるだけ早く外へにがす。

なお、LPガスの管理方法は少々複雑である。使用用途が「民生用途」の熱源(燃料)である場合は、液化石油ガス法(液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関す

る法律)により規制を受ける。もし、使用用途が「工業用途」に該当する場合や熱源以外の利用は、高圧ガス保安法により規制を受ける。大学での実験用には高圧ガス保安法、事務用などには液化石油ガス法の扱いになるものと思われる。なお、液化石油ガス法では、カップリング付容器弁が装着された場合に限り屋内でも10kgまでのボンベが使用可能となっているが、それ以上の大きさのボンベは屋内では利用できない。高圧ガス保安法では、そのような制限はないが、漏れた場合にガス爆発などの危険性があるため、LPガスボンベにはカップリング付圧力調整器を装着し、ホースの接続には迅速継手付ホース(ソケット付ガスコード)を使用して安全性を高めることが望ましい。

【事故例】

2010年、某大学にて実験室の流し台下に長期間置いてあった窒素ボンベが破裂し、その実験室が甚大な被害を受ける事故が発生した。このボンベは昔使っていた実験装置に付属していたものだったが、装置を処分する際に何故かボンベを流し台の下に仕舞い込んだとのこと。その後、この放置されたボンベが徐々に錆び、内圧に耐えられなくなって破裂したと考えられている。この破裂事故は、たまたま別室での研究ミーティング中に発生したので人的被害はなかったが、実験室で作業中だったら…と想像すると非常に怖くなる事故である。

3-4. 容器の確認

容器のバルブを開ける前にそれが自分の使うガスであるかどうか確認すること。容器には図1-1のように、ガスの種類により色分けがされており、さらに充填されているガスの名称とその性質(「燃」は可燃性を、「毒」は毒性ガスであることを意味する)が書かれている。また、容器の所有者を表す記号や番号または氏名・住所等が明示されている。

容器の肩部には、図1-2のように刻印がされており、ボンベ自身や充填されているガスについてさらに細かいことがわかるようになっている。刻印の事項や記号は次のとおりである。



図1-1 ボンベの表示の例

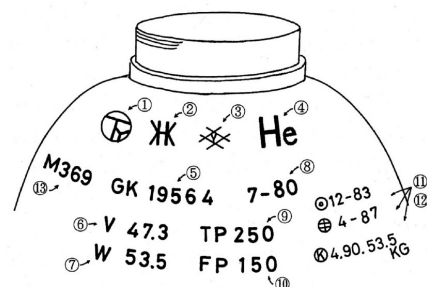


図1-2 ボンベの刻印の例

- ① 特定容器である旨の刻印(法改正されて現在特定容器の取り扱いが廃止された)
- ② 容器検査に合格した旨の記号及び検査実施者の名称の符号
- ③ 容器製造業者の名称またはその符号
- ④ 充填すべきガスの種類

- ⑤ 容器の記号及び番号
- ⑥ 内容量 (記号 V、単位 ℓ)
- ⑦ バルブ及び付属品を含まない質量 (記号 W、単位 kg) アセチレン用の場合：多孔質物、バルブを加えた質量 (記号 TW、単位 kg)
- ⑧ 容器検査に合格した年月
- ⑨ 耐圧試験における圧力 (記号 TP、kg/cm² 単位は数字のみ、メガパスカル単位では数字の後に M がつく)
- ⑩ 最高充填圧力 (圧縮ガスに限り) (記号 FP、kg/cm² 単位は数字のみ、メガパスカル単位では数字の後に M がつく)

容器再検査 (耐圧試験) に合格した場合には

- ⑪ 再検査実施者の名称の符号及び再検査の年月
- ⑫ 質量に変化があった場合には新しい質量
- ⑬ 所有者登録記号番号

なお、これらとまぎらわしい刻印をすることは禁止されている。

表2-5に、容器の塗色の色分け (色の指定がないものはネズミ色である。) や、容器の充てん圧力 (特に液化ガス) を示す。

表2-5 代表的なガスの充てん圧力

	ガス名	化学式	充てん圧力 (kg/cm ²)	容器の色	ガス出口ネジ	
圧縮ガス	ヘリウム	He	150	黒	左	
	酸素	O ₂	150		右	
	窒素	N ₂	150		右	
	水素	H ₂	150	赤	左	
	アルゴン	Ar	150		右	
	アセチレン	C ₂ H ₂	15.5		ネジのない継手	
	メタン	CH ₄	150			左
液化ガス	炭酸ガス	CO ₂	80	緑	右	
	アンモニア	NH ₃	7.4		白黄	右
	塩素	Cl ₂	6.0			右
	亜硫酸ガス	SO ₂	2.8	右		
	ホスゲン	COCl ₂	1.3	右		
	亜酸化窒素	N ₂ O	47	右		
	シアン化水素	HCN	0.7	左		
	クロロメタン	CH ₃ Cl	4.2	左		
	クロロエタン	C ₂ H ₅ Cl	1.2	左		
	プロパン	C ₃ H ₈	7.7	左		
	ブタン	C ₄ H ₁₀	2.2	左		

3-5. バルブ操作

ボンベは構造上バルブ部分 (元バルブ、容器弁などとも呼ぶ) が最も弱いので、このバルブに強い衝撃が加わるとバルブ部分が破損して、ボンベから高压ガスが噴き出し、ボンベがロケットのように飛んだり、辺りを転げ回ったりして極めて危険である。このため、ボンベの運搬時や保管時には保護キャップが付いている。使用時には、この保護キャップを取り外し、紛失しないように注意すること。容器 (ボンベ) 本体の上端についているバルブの構造は図1-3のようになっている。スピンドル弁をまわすハンドルはバルブによ

て付いているものといないものがある。付いていないもの場合には必ず図1-4のような専用のレンチを用いて開閉する。ペンチやスパナを用いるのは危険であるし、ナットをこわしてしまう恐れもあるので、絶対に行ってはいけない。開けるときは静かに1回～1回半左へまわすだけでよく、ハンドルを何回転もまわす必要はない。この場合、急激にバルブを開けると、ガス出口に接続してある減圧調整器等の中の残ガスが瞬間的に断熱圧縮されて発熱し(例えば、ボンベ内圧が150kg/cm² (約15MPa)のとき900℃にまで上昇する)、非常に危険であるので圧力計の針がゆるやかに上がる程度に、静かに開けること。

ハンドル操作中に、バルブを上からのぞいたり、身体をかぶせたりするのは、バルブが破損した場合を考えると危険である。また、事故の際直ちにバルブが閉められるように、図1-4のようなバルブでは、使用中は専用のレンチを付けたままにすること。



日頃からキャップの取り付けを習慣化する



取り外したキャップの置き場所を決めておく

ガス出口には次に述べる減圧調整器が接続されるが、その接続用のネジには右ネジと左ネジがあり表2-5に示されているように、ガスによって決まっている。一般に可燃性ガスは左ネジで、その他のガスは右ネジである。ヘリウムガスの場合は左ネジであるが、ネジの山の高さ及びピッチが可燃性ガスの左ネジと若干異なる。また酸素ガスの場合には図1-4のようにガス出口がメスネジになっている。なお、関西と関東ではネジのタイプが異なる場合があるので注意すること。

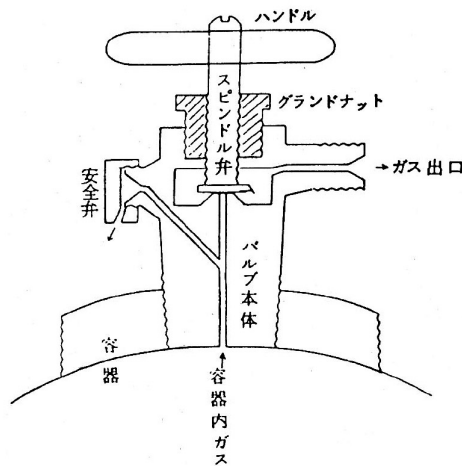


図1-3 バルブの構造

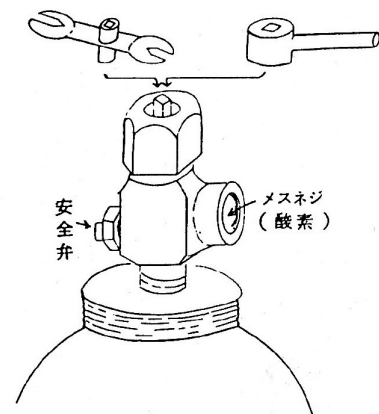


図1-4 レンチのいるバルブレンチはつけたまま使用する

3-6. 減圧弁(調整器)の操作

減圧弁は図1-5のような形をしているが、まず容器のバルブと接続ネジが合うことを確かめる。一種類のガスには必ずひとつの減圧弁を用意して他のガスと共用しないこと。酸素には「禁油」のものを使用すること。減圧弁購入の際にガス名を指定すればまちがいはない。腐食性のあるガスの場合は、減圧弁に寿命があるので、必要に応じて新しいものに更新すること。

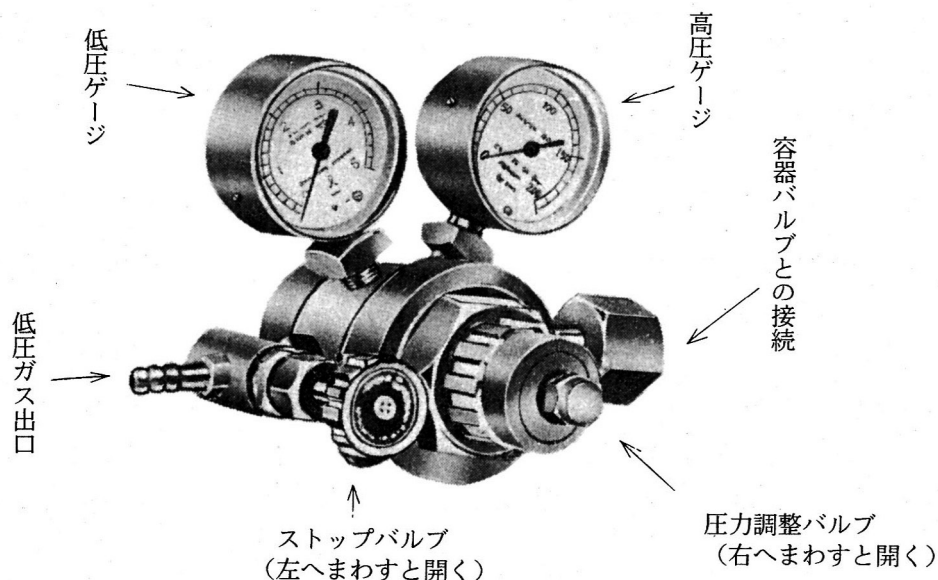


図1-5 圧力調整器(レギュレーター)

容器に取り付けて使用する際、次の事柄に気を付ける。

- (i) 容器のバルブに付着した砂、泥、塵埃を十分に拭き去ること。
- (ii) 減圧弁の取り付けパッキンの有無を調べてから容器に取り付けること。接続部分からのガス漏れの有無は、バルブを再び閉じて減圧弁の圧力が減少しなければ問題ない。
- (iii) 容器のバルブを開く場合には常に身体や顔を減圧弁の正面に向けてはならない。(これは接続ネジがゆるんでいる等で、減圧弁全体が吹き飛んだときの用心である。)
- (iv) 圧力計を見るときは決して正面から見ないで斜めの方向から見る。これは圧力計のガラスが破損したとき顔にあたらないようにするためである。
- (v) 容器からガスを使用するに従ってガスの圧力が減ってくるが、高圧側の圧力が3～5kg/cm² (0.3～0.5MPa)ぐらになると減圧弁を通してガスがほとんど出なくなる。この状態になったときには容器のバルブを閉じて容器を交換する。もしこのときバルブが開放になっていると大気圧まで減圧することになり、容器内に空気が混入する恐れがある。可燃性ガスの場合は危険であり、不活性ガスの場合も純度の点で好ましくない。基本的には次の充填作業のために、ボンベ内には多少の高圧ガスを残すことが望ましい。

圧力調整器のバルブ操作に関しては、高圧ガスを消費する装置にかけるガス圧の適

切な値が事前によくわかっている場合は、最後にストップバルブを開ける方法で良い。ただしこの場合、ストップバルブはゆっくりと開けること。しかし、一般的には、装置の適性圧力がよくわかっていない場合が多い。また、二次圧力がかかる全ての配管についての安全性が確認できていない場合もある。そのため、様子を見ながら圧力を上げる必要のある装置は少なくない。これらの場合は、一般的には装置に徐々に圧力をかける方が安全性が高いと考えられる。また、両方を組み合わせるやり方もある。つまり、最初は安全な低い圧力をかけてからストップバルブをゆっくりと開け、そのあとで適切な圧力に調整するという方法である。また、ストップバルブには流量調整という用途もある。

流量が指定されている装置では圧力だけでは調整できないので、流量計を見ながらストップバルブで調整する必要がある。装置にガスを供給している状態で、圧力調整バルブ、ストップバルブ、または両方を調整する。バルブ操作は一般的には次の手順で行う。

- (1) ストップバルブの閉鎖(時計回り)および圧力調整弁が閉じていること(反時計回り)を確認する。
- (2) 一次側バルブ(容器のバルブ)をゆっくり開ける。
- (3) 装置にかける適性圧力がわかっていないときは、十分低圧(または無圧)の状態であらかじめストップバルブを開けてから、圧力調整弁を操作(時計回り)して徐々に圧力を上げ、装置の様子を見ながら適性圧力に設定する。
- (4) 流量調整が必要な場合は、ストップバルブの開け具合と圧力調整弁の圧力を適宜調整する。

ただし、装置にかける適性圧力がわかっているときは、以下の方法でも良い。

- (1) ストップバルブの閉鎖(時計回り)および圧力調整弁が閉じていること(反時計回り)を確認する。
- (2) 一次側バルブ(容器のバルブ)をゆっくり開ける。
- (3) 圧力調整弁を操作(時計回り)して装置にかける適性圧力に設定し、ストップバルブをゆっくりと開ける。
- (4) 流量調整が必要な場合は、ストップバルブの開け具合と圧力調整弁の圧力を適宜調整する。

停止する場合は、逆の操作で行う。

いずれにしても、バルブ操作で最も大切なことは、ガスを消費する装置の特性を良く理解した上で、最も適切な操作法を行うことである。もし圧力調整バルブの操作で、二次圧力が安定しない場合は圧力調整器の不良が考えられるので、交換が必要である。

3-7. 容器検査

ポンベの所有者は、法律で定められた期間(最近の一般継目無し容器であれば5年)毎に容器再検査を受けなければならない。そこで、まず研究室にあるポンベが、研究室等で買い取ったものなのか、それとも産業ガス会社、医療ガス会社、ガス販売会社などから貸出(レンタル)しているものかを正確に把握する必要がある。ポンベの刻印や表示・シールなどで容易に確認できるはずである。そして、研究室等で所有するポンベの場合(法律的には国立大学法人大阪大学に所有権がある場合)、直近の容器検査日

を刻印等で確認し、次の容器検査期限を把握し、その期日までに受検する必要がある。受検をしなかった場合は、それ以降のガスの充填が法令により禁止される。また、業者側に所有権がある場合、貸出期限などが通常定められているので、それに従って期限内に返却を行う必要がある。

古いボンベが見つかった場合には、ボンベの肉厚(ボンベの鉄板の厚み)が錆などにより減り、破裂事故を起こす可能性があるため、速やかに所有者に連絡し、引き取りを要請すること。



刻印が見やすい位置にボンベを固定する

3-8. その他

化学実験で高圧下で合成反応を行ったり、滅菌用などの用途にオートクレーブを用いることがある。外部と配管があるオートクレーブは高圧ガス保安法の適用があるが、配管のないものは適用されない。ただし、水素、アセチレン及び塩化ビニルについては、使用時の内部の圧力が1MPaを超える場合や、35℃に換算した時に1MPa以上の圧力があれば高圧ガス保安法の適用を受ける。また、1MPaに満たないオートクレーブには容器保安規則(経済産業省令)は適用されないが、労働安全衛生法に基づく圧力容器となるので定期的な管理が必要である。したがって、圧力計や安全弁、ガスケットなどの定期検査・交換の励行が必要である。付随する小形圧縮機についても同様の検査を行うこと。

また、熱間等方加圧(HIP)装置では数千気圧以上にもなるガス中で加熱が行われ、特殊合金やセラミックスなどが合成されている。このような100MPaを超える超高压ガス設備については特別認可申請が必要であるが、これについては高圧ガス保安協会による「超高压ガス設備に関する基準」が示されている。

大阪大学では「大阪大学高圧ガス管理支援システム」(OGCS)を立ち上げ、ボンベの購入、使用開始および返却について集中的に管理している。現在、全学運用を目指し、利用部局の拡大が進められているので、詳細については次のOGCSサポートサイトを参照して欲しい(インターネット上の検索エンジンにて“OGCS”と検索すればポータルサイト(玄関となるページ)が上位に表示される)。

4. 低温液化ガスの取り扱い

4-1. ガスの液化

臨界点より低い温度にある気体は、冷却によって液化することができる。気体をそれ自身で冷却する方法として Joule - Thomson 効果が古くから知られている。すなわち、図2-1に示すように、“詰めもの”あるいは抑止弁を通して気体を自由膨張させると、気体は分子間引力にさからって膨張するため、その運動エネルギーは減少し、従って、気体の温度が下がる。理想気体ではもちろん、この効果はない。理想気体からのずれを示す分子間力と分子の大きさの2つの因子のうち、前者は自由膨張によって降温効果、後者は昇温効果をもっている。2つの効果が均衡する温度はその実在気体の反転温度 (inversion temperature) と呼ばれ、例えば、 N_2 ガスでは 621K、 H_2 ガスでは 195K、He ガスでは 50 ~ 55K である。従って、Joule - Thomson 効果によって気体を冷却するためには、まず、その気体の反転温度より低くしておく必要がある。

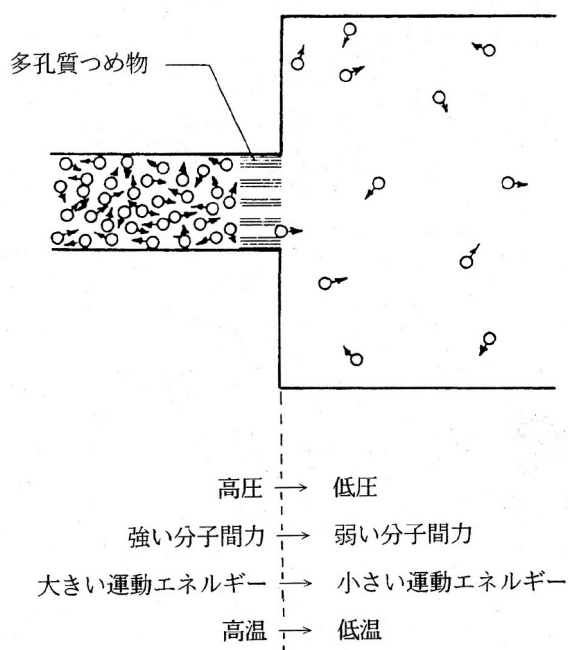


図2-1 Joule-Thomson効果の原理

自由膨張の過程では気体は外部に仕事をしない。いま、気体をシリンダーに閉じ込めたと考え、その壁に衝突してはね返る分子の速度に変化はなく、従って、気体の状態も変らない。もし、そのシリンダーにピストンを取り付け、ピストンで気体の体積を増やす過程を考えるとピストンに衝突してはね返った分子の速度は減少する。運動エネルギーの減少はとりも直さず温度の低下につながる。すなわち、力学的仕事を通して熱エネルギーを取り除き、温度を下げるのが膨張エンジン方式である。Kapitzaが膨張エンジンの代わりにタービンを使ってヘリウムの液化に成功した話は有名であり、大型の液化機には多く用いられている。現在、大阪大学に設置されている2台のヘリウム液化装置も膨張タービンを用いたもので、毎時200ℓの液体ヘリウム製造能力を持つ。

図2-2に示すように、通常は膨張エンジンと Joule - Thomson 効果を併用してヘリウム気体を液化する方式が用いられる。2つの膨張エンジンと多段熱交換器を用いてヘ

リウムガスを7Kに冷却し、最後にJoule - Thomson効果によって液化が行われる。液化速度はガスの流量によって決まり、圧縮機1台当り毎時8～10ℓの液体ヘリウムが得られる。膨張エンジンはピストンとシリンダーの間隙が10μm程度で潤滑剤なしで作動する(気体自身が潤滑剤)。Heガス中の微量の不純物が、この間隙で凝固して動かなくなるトラブルが発生することがあるので、気体の精製には特に注意が払われている。

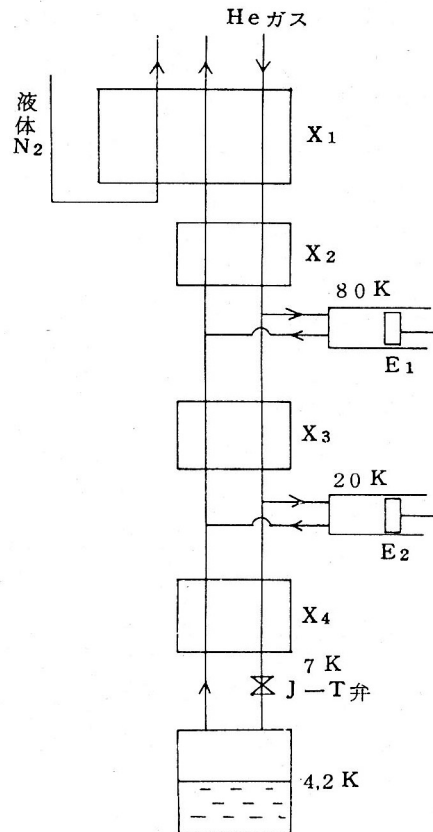


図2-2 膨張エンジン式ヘリウム液化機の原理
4段の熱交換器X₁～X₄、2段の膨張エンジンE₁、E₂で7Kに冷却されたHeガスはJoule-Thomson膨張によって液化する。

4-2. 常用液化ガスの性質

常用される液化ガスの物理的諸性質を表3-1に示す。ここで特に重要な量は液化ガスの沸点と蒸発潜熱であって、目的とする実験を行う際の液化ガスの選択や、実験しうる時間の目安を与える。最後の欄は液化ガスの強制排気によって自己冷却をおこさせる際の到達温度の目安を与えるもので、もちろんその最低到達温度は真空ポンプの排気容量や、外界からクライオスタットへの熱リークの大きさによって異なる。液体ヘリウムの場合には2.2K以下になると超流動状態に移り、超流動膜を生じて液体の有効表面積が増大するため、排気容量の大きい(～3,000ℓ/分)キニー型ポンプを用いる必要がある。他の液化ガスは小型ロータリーポンプで表に示した温度が比較的容易に達成される(液体酸素の排気にはポンプオイル等に可燃性のものは用いないこと)。しかし、一般に固体になると熱伝導度が低くなるので、三重点以下では急速に排気するよりは、ゆっくりに時間をかけて排気する方が能率がよい。以下に個々の液化ガスをとりあげ、使用時の注意を述べる。

表3-1 常用液化ガスの物理的性質

	沸点 (K)	蒸発潜熱 (kJ/kg)	液体密度 (kg/m ³)	気体と液体の体積比	三重点 (K)	到達下限 (K)
⁴ He	4.215	20.91	0.178	699	2.173	~ 0.8
³ He	3.109	6.96	0.134	483		~ 0.3
O ₂	90.188	213.1	1.429	798	54.361	~ 50
N ₂	77.348	199.1	1.251	644	63.148	~ 50
n-H ₂	20.397	448.3	0.090	788	13.956	~ 30
e-H ₂	20.28	446.5	0.090	788	13.81	

液体酸素

酸素の化学的活性は液体状態でも油断がならない。酸化されやすい金属(アルミニウムやチタン)や有機化合物が共存すると、僅かな機械的衝撃で爆発的に化学反応を起こすからである。液体酸素の沸点は、国際実用温度目盛の温度定点のひとつとして重要であるが、この目的以外はなるべく使用は避けた方が良い。やむを得ず使用する時にはデュワー内部をきれいに洗浄し、還元性物質(可燃物)を残してはならない。ロケット打上げには多量の液化酸素が使用されるが、その貯蔵デュワーの清潔さを表現するのにLOX Cleanという言葉が使われているほどであって、最後に洗浄に使われる水には10ppm以上の固体不純物成分があってはならないとされている。

液体窒素

空気を液化、分溜して製造されており、需要の多い酸素ガスの副産物として多量に得られている。最近ではLNGタンカーで運ばれてきた液化天然ガスなどの液体を蒸発させる際の潜熱を利用して低コストで製造されるようになってきている。化学的に極めて不活性であるので真空系のトラップやヘリウム液化機などの予冷用に広く使われている。純粋な液体窒素は空気にふれると急速に酸素をとり込み、図2-3の相図に示すように組成の変動、ひいては沸点の変化を伴う。酸素量の増加につれて純粋窒素の77.33Kより純粋酸素の90.16Kまで連続的に昇温する。従って、貯蔵デュワーの出口をバブラーに連結したり、逆流防止弁を設けるなどの工夫をして、酸素の溶存を避ける注意が必要である。また、小さな部屋で多量の液体窒素を扱うときには酸欠にならないよう、十分な換気を行う必要がある。

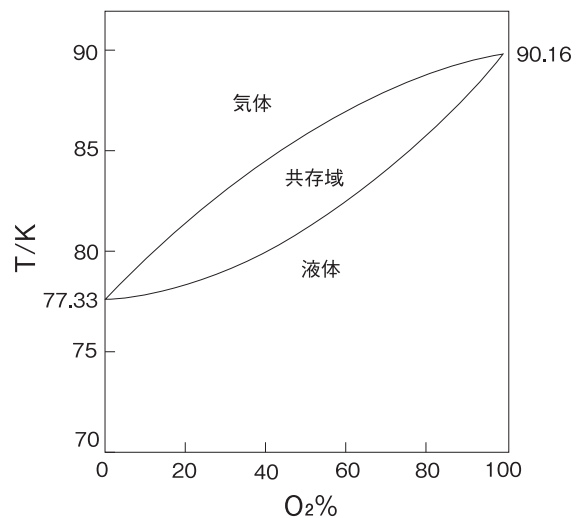


図2-3 相図

【事故例】

50K付近の温度を長時間保つのに、液体窒素を排気する方法がよくとられる。毎日液体窒素を補充してこれを繰り返していくうちに、わずかに漏れ入ってくる空気が液化し、N₂とO₂の沸点の違い(前頁の相図参照)で液体酸素がしだいに濃縮され、最後に残った液体はほとんど純粋の酸素になる。可燃物が存在すると、きわめて激しい燃焼反応が爆発的に起こるので、注意が必要である。酸素による事故は意外に多い。

液体水素

沸点が液化ヘリウムに較べると16Kほど高いが、蒸発潜熱が1桁大きいことは寒剤としての秀れた性能を示している。しかし、その燃焼性、特に爆発範囲の広い点(空气中で下限4.0vol%、上限76vol%)は非常に危険な性質であるから、その安全利用には特に次の諸点に留意しなければならない。

● 実験室での注意

水素ガスの密度は空気の14分の1と軽く、拡散速度も早いため、クライオスタットや貯蔵デュワーから洩れたガスは急速に室内を上昇して天井にたまる。従って、液体水素を扱う実験室の天井には防爆型の強力な換気扇をとりつけるなど適切な通風を確保することが法令で義務づけられている。また、クライオスタットや貯蔵デュワーから蒸発したガスを屋外に逃がすためのパイプは、十分な余裕をみてその太さを設計することも大切である。液体水素を使用中の実験室には水素ガス検知器を設置し、室内の水素ガス濃度が爆発下限よりはるか下の安全圏内にあることを確認することも必要である。空気中の水素ガス濃度を素早く検出し、一定濃度に達すると警報を出す装置として種々の方法が開発されている。例えば、市販の警報器は白金触媒を用いた低温燃焼方式により、1%濃度のH₂ガスが4秒以内に検出され、警報を発するようになっている。定置式と携帯式のものがある。

実験室の内外には消火器などの消火設備を設けるのは当然であるが、非常の場合に使い方がわからなかったり、消火器が使いものにならなかったなどの事がないよう、普段から非常の場合の心構えや行動を考えておくことが大切である。なお、液化水素を使用するときはその場所の周囲5m以内は火気厳禁とし、このことを明示する標識を設けることが義務づけられている。

● クライオスタット

液体水素を正常にクライオスタットに移送し、それが正常に蒸発を続けている限り、洩れたガスがたまって爆発範囲に入る心配はまずない。問題は、ガラス製クライオスタットが破損して多量の液体水素が床にこぼれ落ちるような異常事態の場合である。体積1ℓをこえる収容容器には低温脆性に対して強度のある金属(肉厚1mm以上)で外套を設けなければならない。1ℓ以下の場合でも安全性に対する態度は同じであって、クライオスタットの構造や実験の種類に応じた配慮が必要である。また、液体水素を収容する容

器には、赤色塗装を行って注意喚起することも義務づけられている。

● 潜在的火気

空気中に H_2 ガスが30%含まれているとき、最少の点火エネルギーは0.02mJといわれている。従って、ガスの炎、タバコの火はもちろんのこと、モーター類や実験機器のスパークも極めて危険であって、各機器はアースをとっておく必要がある。乾燥期の衣服の静電気も極めて危険である。スイッチ類の開閉による火花を避けるため、液体水素を搬入したあとはスイッチの開閉は避けるべきで、やむを得ず開閉したいスイッチ類は防爆型のものが原則である。

この他、液体水素の使用には種々の注意事項があり、その使用には液体水素委員会を設置し、その承認をうけることが必要となっている。

液体ヘリウム

現在、入手しうる寒剤の中で最も沸点が低く、化学的にも不活性で安全である。ヘリウムは、地殻中でウランなどの α 崩壊によって発生し、地表に上昇してくる際、天然ガス田に集積する。0.3%以上含まれていると商業ベースに乗るとされ、流通している大部分のガスはアメリカのテキサス、オクラホマ、カンザスにわたる地域とロッキー山脈の西側地域にある天然ガス田で抽出されたものである。大学などでは、寒剤として使用され蒸発したガスを回収し、再び液化して再利用している。回収には気球用風船や回収配管(パイプライン)が用いられる。回収配管内のヘリウムガスの圧力は空気の混入を避けるため、大気圧よりやや高くなっているが、クライオスタットとの接続が不用意にはずれて、多量のヘリウムガスが大気中へ飛散しないよう、逆止弁を設ける必要がある。また、回収配管とクライオスタットとの間にガスメーター(流量計)をつけておくと、回収量が表示されるだけでなく、貯蔵デュワーからクライオスタットへの液化ガスの移送速度をモニターする上で有効である。

4-3. 液化ガスの貯蔵

液化ガスは貯蔵用デュワーに貯えられる。デュワーの名はスコットランドの科学者であるDewarからきており、初めて水素を液化したことで有名である。すなわち図2-4に示すように間隙を真空にした2重壁ガラス瓶が低温液化ガスを断熱的に保護するのに有効であることを見出し、初めて作成されたものとはほぼ同じ形態で広く用いられている。金属製の断熱容器もよく用いられ、10ℓ程度の実験室規模のものから500ℓ程度の大型のものまで種々の市販品が開発されている。貯蔵デュワーの生命は自然蒸発量が少ないことはいうまでもないことであるが、市

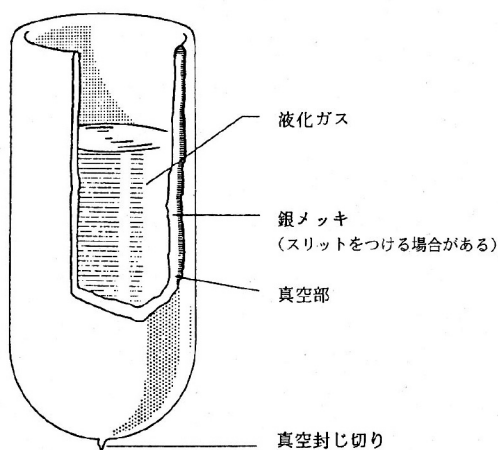


図2-4 ガラス製デュワー瓶

販品を比較すると同一形式のもので性能にかなりムラがあるので、よくテストしてから選ぶ必要がある。

液体窒素の貯蔵容器はほとんど一重デュワー構造のもので、図2-5に示すように内球の底部には吸着によって真空を高めるための活性炭が設けられている。蒸発損失は5ℓ容量のもので8%、100ℓ容量のもので3%が標準である。これより蒸発量が多い場合は大抵真空度の低下によるものと考えてよく、真空引き直しが必要である。貯蔵

デュワーを乱暴に扱くと真空度低下が著しくなるので、特に移動する場合には強い衝撃を与えないよう十分な注意が必要である。その構造から考えて、頸部が最も力学的に弱いので、横に倒すようなことは厳に避けるべきである。

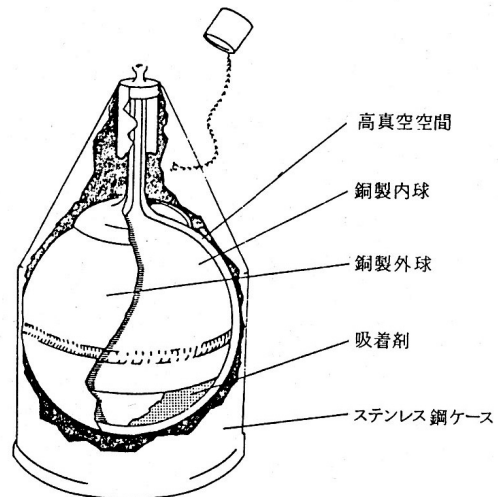
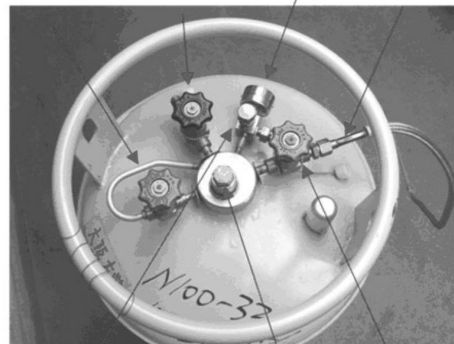


図2-5 液化窒素貯蔵デュワー

貯蔵デュワーからの液体窒素の汲み出しは適当な加圧とサイフォンを用いて行われるが、最近では自分自身の液体の一部を強制蒸発させて加圧源として用い、補助ポンペを必要としない自加圧型容器が大型では主流である。図2-6にその断面図を示す。

昇圧弁 ガス放出弁 圧力計 取出口



安全弁 補給口 液取出弁

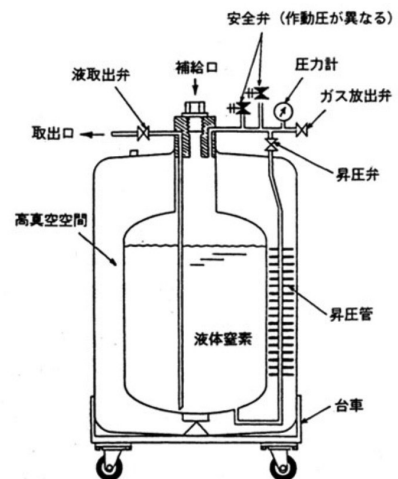


図2-6 自加圧型液体窒素容器

ガス放出弁を閉じ、昇圧弁を開けると昇圧管内で液体窒素は蒸発して内圧が上がり、液体が押し出されるようになっている。液体の汲み出しを止めるには、ガス放出弁を開け昇圧弁と液体取出弁を閉じる。自加圧型容器は、高压ガス容器に該当するため、5年ごとの容器検査が法令で義務づけられている。詳細は低温センターに問い合わせること。残存量の測定には大型天秤が用いられるが、簡便には竹やFRPの棒をさし込み、引き上げたのち棒につく霜の生成の様子からおよその液面を知ることができる。液体水素やヘリウムの貯蔵デュワーは図2-7に示すようにほとんどが二重デュワー構造となつて

おり、外側を密度の大きな液化窒素で囲むため頸部の力学的負担は増大し、従ってその取り扱いにはさらに慎重に行うことが何よりも大切である。最近では外側の液体窒素をなくし、蒸発したヘリウム気体のエンタルピーを利用した輻射シールドをつけたもの、あるいは熱伝導の悪い微粉末と真空を併用した断熱方式などが開発されて、貯蔵デューワーの軽量化が図られている。蒸発量は従来の型のものに比して幾分大きいのが、短期間の貯蔵には有効である。ガスシールド型のデューワーの断面の模式図を図2-8に示す。蒸発

ガスにより銅製のシールド板が冷却され、また、複数枚設置することで板間の温度差を小さくして、輻射熱の流入を減らす工夫がされている。液体窒素シールド型とガスシールド型では、最初に使う際に常温から窒素温度まで冷やす(予冷するという)仕方が異なる。残存量を知るための液面計には、超伝導線やカーボン抵抗体などの抵抗変化を利用する方式、キャパシタンスの変化、その他静水圧や屈折率変化を利用する方式など、さまざまな方法が開発されている。簡便法としては細長い管の内部で起こる熱振動をゴム膜の膜振動に変えて検出する方法(大阪大学低温センターだよりNo.68, P.10など参照)があり、熟練すると±2mm位の精度が得られる。

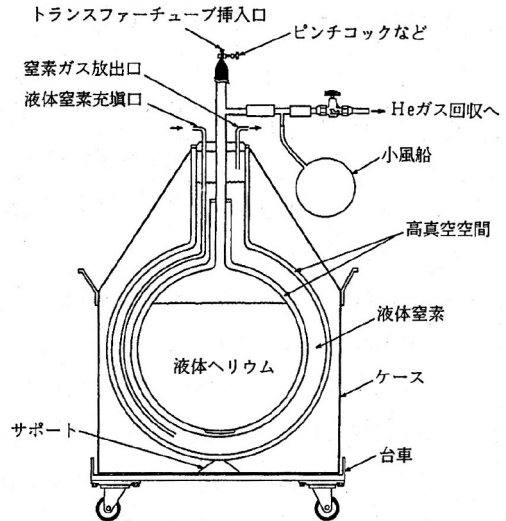


図2-7 液体ヘリウム貯蔵容器 (液体窒素シールド型)

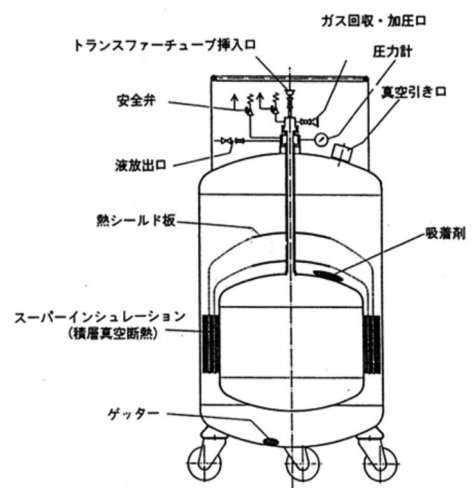


図2-8 ガスシールド型ヘリウム貯蔵容器の断面図



液体ヘリウムストレージベッセルと運搬用台車

5. 低温センターと低温実験

5-1. 高圧ガス保安法と低温研究

低温センターは、豊中キャンパスおよび吹田キャンパスに分室をもち、液体ヘリウムをセンター内で製造し、また窒素は外部から購入し大型のタンク(CE)に貯えている。これらにおける保安の確保は高圧ガス保安法に基づいて行われており、豊中分室は豊中市、吹田分室は吹田市の行政指導を受けている。そして、年一回の保安検査の際、圧力計の精度に至るまで厳しい検査を受けなければならない。

また、高圧ガス保安法は高圧ガス設備だけでなく、その機械を運転する人、管理する人、そして利用する人々にも種々の制限を課している。施設ごとに保安係員を必要とし、高圧ガス製造保安責任者免状の所持者を2名配置する必要がある。従って、低温センターは2分室あるので合計4名の免状所持者を必要とする。この免状は学識、保安管理技術、法令の3科目について国家試験に合格し、1年以上の高圧ガス取り扱いの経験があって、はじめて手に入れることのできるものである。

保安係員等はただ名前を連ねているだけではなく、実際に機械を運転する人や、高圧ガス製造施設を利用する人たちへの教育(保安教育)の責任を負っている。このような事情を考慮して本学では次章「6. 寒剤利用の手引」に示すような手引を作成し、ユーザーの守るべき注意事項をまとめて示している。

5-2. 低温センターへの出入り

高圧ガス製造施設への出入りは直接の関係者以外は禁止されている。具体的にはセンター職員によって名前が判別される人のみに限っている。センター内の機械にはどんな場合でも触れてはならない。ヘリウム容器等もセンター職員の許可を得てはじめて動かすことができる。

低温センター内は火気厳禁である。従って、喫煙者はタバコ、マッチ、ライターの類を持ち込んではいならない。センター周辺でたき火をするなどの行為も禁じられている。

5-3. 液体窒素室への出入り

現在低温センターでは豊中、吹田両分室共1日当り500から1,000ℓの液体窒素を供給している。このためセンター職員のみではユーザーに供給しきれないので、ユーザー自身が液体窒素を自分の使用する容器に充填することが行われている。ユーザーは液体汲み出し用のバルブのみの操作を行い、他の設備には手を触れてはならない。また液体窒素室に掲示された注意書をよく守ること。使用法がわからないときは必ずセンター職員の指示を受けなければならない。バルブが閉まらなかったり器具が破損したときは、直ちに低温センター職員に通報すること。

5-4. 実験室での事故防止

低温センターで供給された低温液体を研究室においておくときは、次の点に留意すること。

(i) 液体窒素

開放型容器の場合は必ず付属のキャップをすること。密閉型容器では昇圧弁、液取弁が閉まっていて、ガス放出弁が開いていること。実験室で大量に蒸発させるときは必ず換気すること。

(ii) 液体ヘリウム

蒸発ガスは必ず回収し、空気などが混入しないように低温センターへ戻すこと。液体窒素の補給を忘れないこと。空気の混入があると容器の頸部や底に氷がたまるので注意する。

5-5. 事故の際の対策

事故の種類にもよるが、高圧によって破損するようなときはほとんど逃げる時間はない。しかし容器がこわれると液体窒素が流れ出すことがあり、凍傷や酸欠等の二次的災害を避けるため、至急退避しなければならない。

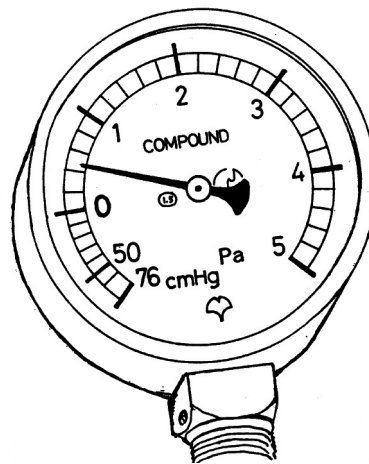
液体水素の場合、火を噴く事故も考えられるので、着火源になる物は離れた所にある物も消してから退避すること。消火しないで退避すると後で爆発する恐れがあるので注意を要する。

事故の場合は、必ず指導教員に連絡すること。教員は所属部局の安全担当の係に通報すると共に低温センターにも一報すること。事故の様子により、警察、消防、大阪府の係官の調査が行われるので、原因究明に協力すること。なお、事故時には法律に基づいて事故届を行政庁に提出する必要がある、事故の発生状況や対処方法などを時系列にまとめて報告を求められることが多い。このため、事故発生時には研究室にいる1名を記録係とし、何時何分に誰がどのような行動を取ったかをそれぞれ記録係に随時報告し、記録を残すことが望ましい。

本学では、幸い低温液化ガスに関する重大な事故は起こっていない。これは諸先輩の経験と注意深い安全対策によるもので、この伝統を守らなければならない。なお、万一事故が起こった場合は、大阪府知事や各市長は製造停止命令権を持っており、低温センターの業務を停止しなくてはならない場合も起こりうる。その影響は当事者のみでなく、全学の研究におよぶことをよく承知すること。指導教員の立場にあるものは、はじめて低温液体を取り扱う学生に対して十分な指導を行い、事故の防止に努めること。初心者への講習会も開催しているので利用すること。

圧力の基準には絶対圧とゲージ圧の2種類がある。絶対圧は真空を、ゲージ圧は大気圧(1気圧)を基準としている。圧力計などでは、真空側を赤色の目盛りや文字で、加圧側を黒色で表示したものが多い。図のような圧力計は、真空計と圧力計が組み合わされているために複合計(compound gauge)などと呼ばれる。

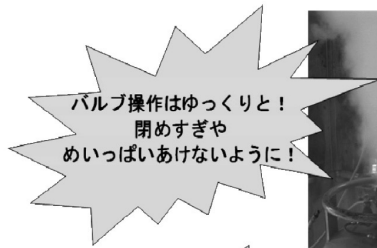
圧力の単位 1気圧 = 1.0332kg/cm²
 = 0.101325MPa
 ~ 1bar (1013mbar)
 = 760Torr (mmHg)
 = 76cmHg
1psi ~ 0.07kg/cm²



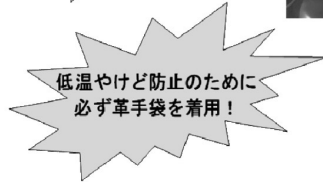
6. 寒剤利用の手引

低温センターで利用できる寒剤は「液体窒素」及び「液体ヘリウム」である。「液体水素」については平成6年10月をもって製造停止措置をとっているため、センターでは供給していない。これらの寒剤を利用するにはどうすればよいか。手続及び注意事項をここで説明する。

低温センターでは安全衛生管理部と協力して、初心者を対象とする寒剤の取り扱いに関する安全講習を春季と秋季の年2回開催しているため、研究室の必要に応じて受講すること。なお、この講習の受講者には修了カードを発行し、低温センター利用者は原則としてカード所有者としている。その他、寒剤の利用については各分室で決められているため、それらも参考にすること。



液体窒素の汲み入れ



コールドエバポレータ(CE)

6-1. 液体窒素

液体窒素は、先に述べられたように一気圧の下で約77Kの寒剤として用いられる。この液体は、低温センターにおいて常時コールドエバポレーター (CE)と呼ばれるタンクに貯蔵されており、利用者は液体窒素を入れる容器を持参して自分でタンクから汲み出す。具体的な汲み出しの方法は豊中分室及び吹田分室で若干の相違があるので、はじめて利用しようとする者は低温センターの各分室で説明を受けること。両分室で共通する一般的注意事項を次にあげる。

(i) 容器は金属製の液体窒素専用のものを用いること。

ガラス製の魔法ピンは、液体窒素汲み出しの際、蛇口の先についているゴム管あるいは金属管が液体窒素蒸発のときの圧力ではねて破壊することがあり危険であるため使用しないこと。液体窒素用の容器はさまざまなサイズ(10 ~ 100ℓ程度)が広く市販されている。また低温センターで貸出しも行っている。

(ii) 備え付けの革手袋を着用すること。

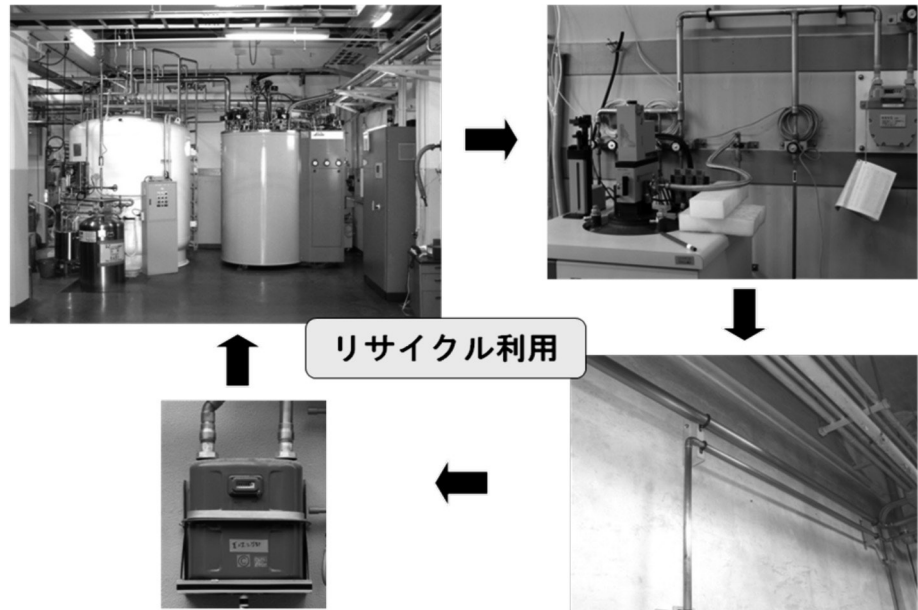
パイプがはねるのを抑える必要などがあるため、必ず革手袋を着用する。軍手は吹き出した液体が繊維の間へしみ込んでくるので使用しない。ハンカチで上品に押さえようとして、凍り付いて取れなくなったという笑えない話もある。また、凍結時でもすぐに外せるような厚手で大きめの皮手袋をはめ、導入管を強く握り締めて凍傷を負ったものもある。

(iii) 液体窒素汲み出しの蛇口のバルブは徐々に開くこと。

バルブを最初に開けたとき、液体窒素が高圧低温のガスとなって激しく吹き出すので、バルブはほんの少し開き、そのとき出る冷たいガスによって容器を充分冷却する。その後バルブを徐々に大きく開け液体窒素を適量だけ汲み出す。終わった後はバルブをきっちり閉じる。

(iv) バルブ等にトラブルが生じた場合は、ささいなことでもすぐに低温センターの職員に通報し、自分でいかげんな処置をしないこと。

(v) 利用時間は各分室で定められているので、これを確認の上利用すること。



6-2. 液体ヘリウム

液体ヘリウムの利用において他の液化ガスと根本的に異なることは、ヘリウムが非常に高価で貴重なガスであるため、液化し寒剤として用いられた後、蒸発したガスを回収し何度もくり返し用いるという点である。回収ガスを高純度に保ち回収率を上げ、安価で安定した液体ヘリウムの供給を維持するためには、利用者の協力が不可欠である。

低温センターで液体ヘリウムを利用する方法として2通りある。一つは実験装置を組みこんだデュワー瓶を低温センターに運び、それに直接液体ヘリウムを入れる方法であり、もう一つはストレージベッセルと呼ばれる25～100ℓ程度の液体ヘリウム専用の大型容器に低温センターで液体ヘリウムを満たし、それを各研究室へ運搬した後、それから各自の実験装置のついたデュワー瓶にトランスファーする方法である。液体ヘリウム利用の頻度が非常に小さい研究室では前者が便利であるが、通常は後者をたてまゑとしている。低温センターではストレージベッセルの貸出しも行っているので利用されたい。(一時貸借のみ)

次に液体ヘリウムを利用するときの両分室に共通な注意事項をあげておく。詳細は各分室で若干異なるので、初めて利用する場合は各分室の職員に相談すること。

(i) 液体ヘリウムの供給日

- 小型デュワーびん 火、金(豊中分室)
- ストレージベッセル 月～金(豊中分室)

※吹田分室については内線電話(内線7985)にて直接問い合わせること。

利用者はあらかじめ低温センターにおいてヘリウムの供給日を予約しなければならない。供給日が定まれば、指定された時刻までに液体窒素で十分予冷した小型デュワーやストレージベッセルを低温センターへ運びこむこと。

(ii) ストレージベッセルからの汲み出し

低温センターからストレージベッセルで液体ヘリウムの供給を受けた場合、実験室において実験装置(クライオスタット)のついたデュワーに移し直さなければならない。

その方法は次のようにして行う。

- ① 図3-1のようにトランスファーチューブと呼ばれる真空層のある二重管をストレージベッセルの中へ挿入する。このときゆっくりと入れて行き、入れるにしたがって先の方で蒸発した冷たいヘリウムガスによって、常にトランスファーチューブの上方が冷却されるようにする。そうでないと急激に蒸発し圧力が高くなりストレージベッセルについている風船を破壊し、また、ベッセルの口から吹き出た冷たいガスで凍傷をおこしたりする。トランスファーチューブの先端がストレージベッセルの底に届いたら1cm程ひきあげ、その状態でベッセルの口のゴム管を銅線(1mmφぐらいの軟銅)でしばる。
- ② 図3-2のようにクライオスタットにゆっくりとトランスファーチューブを挿入する。クライオスタットの口のゴム管を銅線でしばる。コック①を閉じてコック②を開く。
- ③ トランスファーチューブのバルブをほんの少し開いてベッセルから液体を送る。このときクライオスタットはまだヘリウム温度まで冷えていないから、直ちに蒸発しクライオスタットの風船が膨らむ。このとき、もしもバルブを急に大きく開くとクライオスタット中で急激に気化し、圧力が上がり、温まったヘリウムガスがベッセルに逆流する。そのために、ベッセルでは急激な蒸発がおこり、ヘリウムガスを逃がすはめになる。少しずつヘリウムを送ってクライオスタットが十分冷えた頃合を見計らった後、徐々にトランスファーチューブのバルブを大きく開き適当な位置で止める。流量が少ないときは、ベッセル側の風船を押して圧力を上げるとよい。このあたりのコツは低温センターの職員、あるいは熟練した先輩から教わるようにして、決して我流でいいかげんな取り扱いをしてはならない。クライオスタットの構造によってヘリウムの最適移送速度は異なる。この場合、クライオスタットと回収配管の間にガス流量計を設置しておくとその移送速度が一目でわかるので、それを監視しながらストップバルブの開閉度が調節できて便利である。
- ④ 適当量ヘリウムをクライオスタットに移した後、液体ヘリウムの蒸発がおさまり、クライオスタットとベッセル内の圧力が下がったら、トランスファーチューブをベッセルから引き抜く。このときも手ぎわよく行い、なるべくヘリウムガスを逃がさないように気をつける。



液体ヘリウムトランスファーの一例

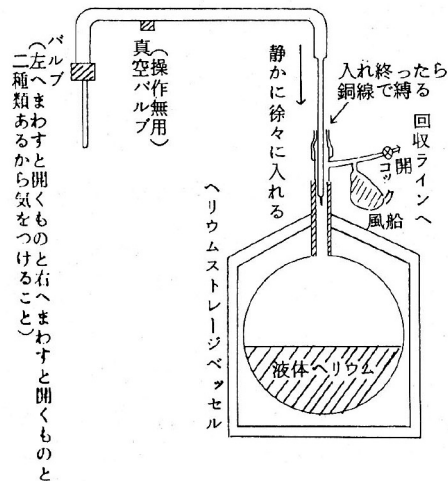


図3-1 トランスファーチューブの挿入

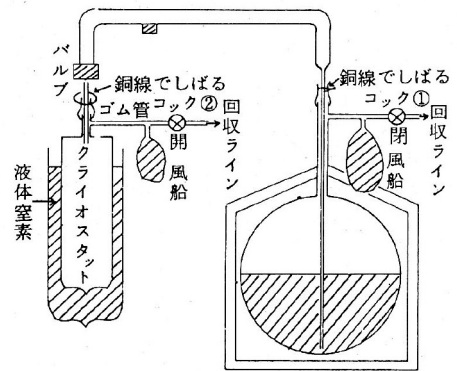
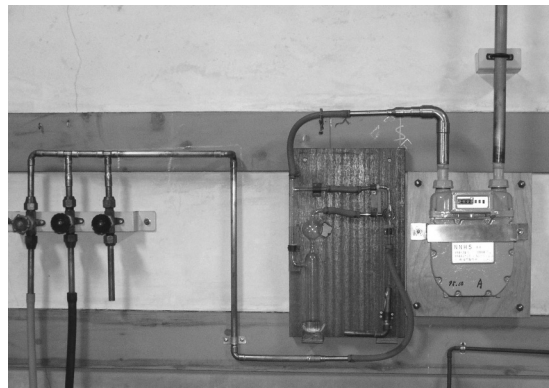


図3-2 液体ヘリウムの移送

(iii) 回収用パイプラインに関する注意

先にも述べたように、ヘリウムガスは高価であるので回収して再利用する。液体ヘリウムの利用度の高い実験室の中には回収用のパイプライン(銅管)がすでに備えられているところがあり、その場合は、自動的に低温センターへ蒸発したヘリウムが回収されるようになっている。回収用パイプラインを利用する際、最も気をつけねばならないことは、決してそのラインを開放状態にしてはならないことである。もしも間違って回収系パイプラインが開放状態になると、低温センターにある回収タンクの圧力が1気圧より高いためヘリウムガスが逆流して大気中へ逃げってしまうことになる。そのために、パイプラインの各ターミナルにはオイルトラップあるいは逆止弁に相当するものをつけ、その先にクライオスタットを接続することが義務づけられている。また実験終了後は必ず回収ラインのターミナルのバルブを閉じておくこと。

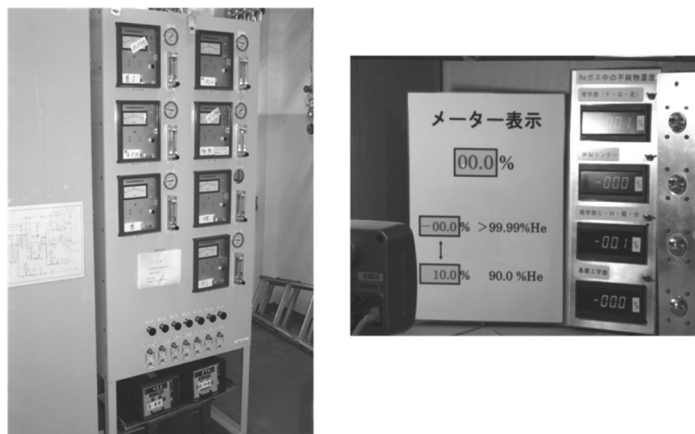


ヘリウム回収ラインに取り付けられた逆流防止オイルトラップとガスメータ

(iv) 回収ガスの純度を保つための注意

いうまでもなく、回収されたヘリウムガスは純度の高いことが望ましい。ヘリウムガスに混入する不純ガスは主に空気と水蒸気である。例えばクライオスタットの温度を4.2Kより下げるため真空ポンプで減圧した場合に、実験装置のどこかに漏れ箇所があると、そこから回収配管内へ吸い込まれる。これを防ぐためにはクライオスタットの真空シールが重要である。豊中分室では、ヘリウムを入れない状態でクライオ

スタートを真空に引き、ポンプ側のバルブを閉じた後、1分間にオイルマンメータで測定して20mm以下の漏れに押さえるよう義務づけている。またポンプで排気減圧しないときでもクライオスタートやベッセルの口を開放状態にするとそれがトラップとなって空気や水蒸気をいくらでも吸収する。従って、このようなことはできるだけ避けるよう注意が必要である。



低温センターに設置されているヘリウムガスの純度計

6-3. 液体水素

液体水素の供給は現在行われていないが、取り扱い上注意すべき点が多いので以下に述べる。

液体水素は蒸発潜熱がヘリウムより1桁大きく、4.2Kと77Kの中間に沸点をもつ寒剤として有用なものであるが、その可燃性のため使用に当たっては厳重な注意が必要である。以下に示すように利用規定は液体ヘリウムに比べ格段に厳しくなっており、できるなら液体水素の利用はさけて液体ヘリウムで代用するよう装置を工夫すべきである。例えば、20K前後の温度がほしい場合でも液体水素を安易に用いることなく、液体ヘリウムの気化を利用することで自動温度制御を行い、目的を達するようにすること。

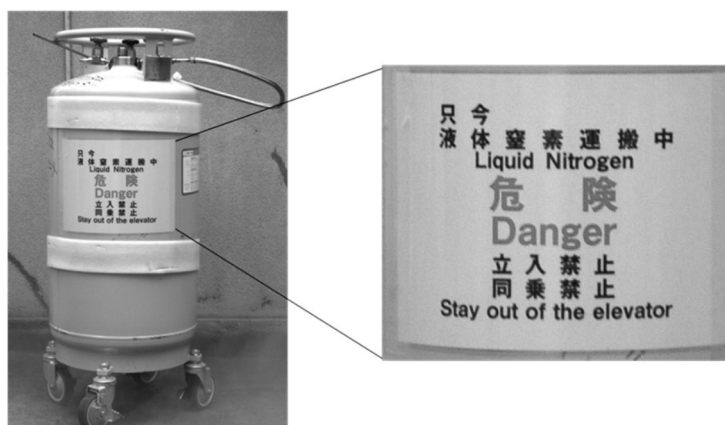
【事故例】

高圧ガスは予期しないところで発生する。例えば、高真空を実現するためには、液体窒素で冷却したトラップを用いるのが普通である。何かの理由で真空が破れると慌ててトラップの両端のコックを締めてしまう。しかしこの間にトラップの中には空気が液化し、外側の液体窒素が無くなる頃には高圧ガスに変貌する。ガラス製真空ラインの場合には、2～3気圧に達したところでトラップのすり合わせ部分がふっ飛んで破損する。金属性の場合には耐圧性が強いだけに更に恐ろしい事態となる。高真空を扱う研究者でこの事故を経験した人は意外に多い。

【事故例】

液体ヘリウムを使用した実験後、何らかの理由で液体ヘリウムを早急に蒸発させるときがある。最近のことであるが、液体ヘリウムをヒーターで加熱回収中ガラスデュワーの内圧が急上昇し、大音響とともに、ガラスデュワーが破裂して木端微塵になった。細い内径の安全弁では、急激な内圧の変化には不十分な場合があるので注意が必要である。

注意：有機溶媒や液体窒素はエレベーターで運ぶときは無人にすること。
エレベーターには容器だけを乗せ、人は目的の階で待機しておくようにする。



液体窒素容器に貼られた危険表示

7. 特殊高压ガス

7-1. はじめに

近年、半導体、光ファイバー、ファインセラミックス等の先端産業の分野で、これまで工業的な規模ではあまり使われることのなかった特殊なガスが使われるようになった。大学でも研究室によっては、試料作成などのために利用しているところがある。これらのガスの中には、あとに挙げるように、空気中で自然に発火したり、また強い毒性を有していたり、保安上特別な配慮が必要なものが多い。このために、1985年に既存の法令のみでは十分な安全が確保されないおそれがあるとの理由で、高压ガス保安協会により「特殊材料ガス災害防止自主基準」が制定された。（後述するように、その後、法律が改正され特殊高压ガスとして規制されることになったため、この基準は2008年に廃止された。）実際に使用されている特殊材料ガスは100種類以上あるが、自主基準では39種類が対象となっていた。（AsCl₅は常温常圧では単独で存在できないので除外され、38種類という場合があった。）これらの性質を、表6-1に示す。これらのガスは主として、Ⅲb、Ⅳb、Ⅴb、Ⅵb族の比較的重い元素の水素化物、ハロゲン化物である。水素化物はいずれも可燃性であり、空気中での爆発範囲は1%程度から100%近くまでと広く、発火に必要な最小エネルギーは小さく、かつ燃焼熱が大きいという、一旦漏れたら爆発に結びつく性質を持つ。ハロゲン化物は不燃性であるが、その多くは水と反応してハロゲン化水素を発生する。また、三フッ化窒素のように強い支燃性を示すものもある。

二塩化シラン及び三塩化シランは、水素化物とハロゲン化物双方の特徴を持っている。金属アルキル化物は常温で液体ないしは固体であるが、可燃性であり、室温で自然発火する。そして忘れてならないことは、いずれもかなり強い毒性を持っていることである。

残念なことに、1991年に本学基礎工学部でシランガスが関係した爆発事故が発生し、2名の学生・院生が死亡している。モノシランガス等による事故の発生を防ぐために、高圧ガス取締法(現 高圧ガス保安法)が改正(1991年12月公示、1992年5月施行)された。その結果、消費に際し危険度が高く特別の注意を要する7種類の高圧ガス(モノシラン、ホスフィン、アルシン、ジボラン、セレン化水素、モノゲルマン、ジシラン)が特殊高圧ガスに指定され、その消費量の多少にかかわらず、法規制の遵守と届出が義務づけられた。

表6-1 特殊材料ガスの性質

物質名	化学式	分子量	融点 [°C]	沸点 [°C]	臨界温 度 [°C]	生成熱 [kcal mol]	可 燃 性	毒 性	許容濃度 (ppm)
I. シリコン系									
1. モノシラン	SiH ₄	32.12	-185	-111.9	-3.5	+8.12	○	○	5.0
2. ジクロロシラン	SiH ₂ Cl ₂	101.01	-122	8.3	176.3		○	○	
3. トリクロロシラン	SiHCl ₃	135.45	-126.5	31.7		-123.2	○	○	
4. 四塩化ケイ素	SiCl ₄	169.90	-70.4	57	233.6	-156.9		○	
5. 四フッ化ケイ素	SiF ₄	104.08	-77(0.2MPa)	-95.1		-385.7		○	2.5m
6. ジシラン	Si ₂ H ₆	62.22	-132.5	-14.5	150.85		○	○	5.0
II. ヒ素系									
7. アルシン	AsH ₃	77.95	-116.9	-62.48	99.9	+15.86	○	○	0.005
8. 三フッ化ヒ素	AsF ₃	131.92	-8.5	60.4		-187.7		○	0.003m
9. 五フッ化ヒ素	AsF ₅	169.91	-79.8	-52.8		-296		○	0.01m
10. 三塩化ヒ素	AsCl ₃	181.28	-16	130.2	356	-62.58		○	0.01m
11. 五塩化ヒ素	AsCl ₅	252.19	-50	-25				○	0.01m
III. リン系									
12. ホスフィン	PH ₃	33.99	-133.8	-87.77	51.6	+1.2	○	○	0.3
13. 三フッ化リン	PF ₃	87.97	-151	-101.5	-2.05	-219.3		○	
14. 五フッ化リン	PF ₅	125.96	-93.8	-84.6	15	-381.2		○	0.5m
15. 三塩化リン	PCl ₃	137.33	-112	-74.2	290	-68.6		○	0.2
16. 五塩化リン	PCl ₅	208.24	-180			-89.6		○	0.1
17. オキシ塩化リン	POCl ₃	153.3	1.25	105.8	329	-142.6		○	0.1
IV. ホウ素系									
18. ジボラン	B ₂ H ₆	27.67	-164.9	-92.5	16.65	+8.6	○	○	0.1
19. 三フッ化ホウ素	BF ₃	67.80	-126.8	-100.3	-12.3	-277.6		○	1.0
20. 三塩化ホウ素	BCl ₃	117.17	-107.5	12.5	178.8	-96.4		○	
21. 三臭化ホウ素	BBr ₃	250.5	-46.3	91.3		-49.1		○	1.0
V. 金属水素化物									
22. セレン化水素	H ₂ Se	80.97	-65.7	-41.4	138	+7.17	○	○	0.05
23. モノゲルマン	GeH ₄	76.62	-166	-88.5	34.85	+21.73	○	○	0.2
24. テルル化水素	H ₂ Te	129.61	-49	-2	200	+23.8	○	○	
25. スチビン	SbH ₃	124.77	-88	-18.4		+34.7	○	○	0.1
26. 水素化スズ	SnH ₄	122.72	-150	-52			○	○	
VI. ハロゲン化物									
27. 三フッ化窒素	NF ₃	71.00	-206.8	-129	-39.15	-29.9		○	10.0
28. 四フッ化イオウ	SF ₄	108.05	-121	-38	90.85	-185		○	
29. 六フッ化タングステン	WF ₆	297.84	2.3	17.06	169.9	-417.5		○	2.5m
30. 六フッ化モリブデン	MoF ₆	209.93	17.4	35		-372.0		○	2.5m
31. 四塩化ゲルマニウム	GeCl ₄	214.40	-49.5	84.0		-118.5		○	
32. 四塩化スズ	SnCl ₄	260.50	-33	114.1		-112.7		○	2m
33. 五塩化アンチモン	SbCl ₅	299.02	2 ~ 4	92 (30mmHg)		-94.18		○	0.1m
34. 六塩化タングステン	WCl ₆	396.57	284	338		-122.8			
35. 五塩化モリブデン	MoCl ₅	273.2	194	238		-125.9			5m
VII. 有機金属化合物									
36. トリメチルガリウム	Ga(CH ₃) ₃	114.83	-15.8	15		-9.93	○	○	
37. トリエチルガリウム	Ga(C ₂ H ₅) ₃	156.91	-82.3	142.6		-14.67	○	○	
38. トリメチルインジウム	In(CH ₃) ₃	159.93	88.4	135.8		+41.4	○	○	0.1m
39. トリエチルインジウム	In(C ₂ H ₅) ₃	202.01	-32	144			○	○	0.1m

m とあるのは金属として mg/m³

7-2. 主なガスの性質

1) シラン(モノシラン SiH_4 およびジシラン Si_2H_6)

メタンやエタンの炭化水素の炭素を同じ14族のケイ素で置き換えた一連の物質をシラン類とよび、もっとも簡単な構造のメタンに相当するものをモノシラン、エタンに相当する物をジシランと呼ぶ。モノシラン及びジシランは無色で不快臭のある気体で、空気よりわずかに重い。発火温度が室温以下なので、大気中に放出されると発火し、白色の煙を出して燃焼する。爆発下限界は1.3%と低い。また、わずかな空気があっても燃えるので、上限界は100%に近く、非常に広い爆発範囲を持つ。

窒素ガス等の不活性ガスで希釈していくと、表6-1に示すように爆発下限界が1%以下にも下がるという報告もある。また、毒性があり、許容濃度は5ppmである。苛性ソーダ溶液等アルカリ性溶液で加水分解されるので、この方法で除外できる。

シランの火災でもう一つ注意しなければならないのは、シランに対して消火剤のハロンは支燃性ガスの役割をすることである。したがって、シランの火災にハロン消火器は使用できない。

2) アルシン AsH_3

無色で、ニラのような臭いの気体で空気より重い(空気に対する比重2.7)可燃性ガスで、爆発限界は5.1～78%である。常温では安定で、大気中では発火しない。230℃付近からは分解がおきる。非常に毒性の強いガスで、血液中のヘモグロビンと結合し溶血作用がある。許容濃度は0.05ppmで、0.5ppmで急性中毒が現れ、10ppmで長時間で致死、250ppmでは30分以内に死亡するといわれている。燃焼生成物(三酸化二ヒ素 As_2O_3 や亜ヒ酸 $\text{As}(\text{OH})_3$ も毒性があるので吸引しないように注意が必要である。

3) ホスフィン PH_3

無色、不快臭の気体で空気より重い可燃性ガスであり、濃度の高いガスは常温の空气中で発火する。爆発限界は1.6～98%である。熱的には安定で、300℃で分解が始まる。ハロゲン及びハロゲン化合物と激しく反応する。加水分解性があり、水中では徐々に分解して P_2H_4 に近い組成の固体のリン化水素になる。非常に毒性が強く、吸入すると数分以内に呼吸困難、窒息性けいれん等の症状を起こし、死に至る。許容濃度は0.3ppmであり、2000ppmを吸入すると数分で死に至る。

4) ジボラン B_2H_6

無色、特有の臭の気体で空気よりわずかに軽い。可燃性ガスで爆発限界は0.84～93.3%である。発火温度は80℃と低いが、常温で空气中で発火しない。熱的に不安定で、常温でも徐々に重合・分解を始め、水素と高級ボラン類になるので、低温で貯蔵する。水と反応して水素を発生する。ハロゲンとも激しく反応する。非常に毒性が強く、吸引すれば肺への障害を起こし、また肝臓あるいは腎臓を侵す。許容濃度は0.1ppmである。

5) セレン化水素 H_2Se

無色の硫化水素に似た不快臭のある可燃性かつ極めて毒性が強いガスで劇物に指定されている。常温では熱的に安定であるが、約160℃で元素に分解を始める。空気

中の湿気により徐々に分解し赤色のセレンを析出する。最も毒性の強い物の一つであり、希薄ガスは粘膜を侵し、気管支に障害を与える。短時間の吸入でも発作的な昏睡状態となり死に至ることがある。

6)ゲルマンGeH₄

モノゲルマンとも言う。無色、吐き気をもよおすような不快臭のある可燃性ガス。毒性がある。常温では安定であるが、350℃以上の温度ではほとんど完全にゲルマニウムと水素に分解する。空気中では90℃で自然発火をおこす。分解は生成熱が +91kJ/mol の発熱反応なので、分解爆発を起こす。実際にゲルマンを充てんした容器が分解爆発により破壊した事故が発生している。吸入すると溶血作用があり、腎臓障害を起こす。

以上のガスは、いずれもハロゲン化合物と激しく反応するので、その消火にハロン消火剤を使用することはかえって危険である。

(この項は、高圧ガス製造保安係員講習テキスト 高圧ガス保安協会編集 昭和63年版と「中級高圧ガス保安技術・第二次改訂版 高圧ガス保安協会 平成16年改訂」を参考にした)

7-3. 自主基準の抜粋

「特殊材料ガス災害防止自主基準」は、モノシラン等半導体産業等で使用される自燃性、自己分解性、強毒性等を有する特殊なガスについても、一般の可燃性ガス、毒性ガスと同様の法規制しかなかった時代に、これらの特殊な物性や取り扱いの実情等を考慮した自主的な保安対策として制定されたものである。したがってソフト面・ハード面の広い範囲にわたって基準を定めているので、法整備が進んだ現代においても、研究室でこれらのガスを取扱うときに、この自主基準を参考にして対処する必要がある。そこで、この自主規制の抜粋を以下に載せる。

保安管理

- 1) ガスの取り扱い及び保安管理の責任の所在を明確にするため、保安体制を整備する。消費施設においては、高圧ガス保安協会の行う講習を受講した者の中から「特殊材料ガス取扱主任者」を選任する。特に先に挙げた7種類の特殊高圧ガスを扱う場合には、消費量の多少によらず、「特定高圧ガス取扱主任者」の選任が義務づけられている。なお、高圧ガス保安協会の講習を受講し、検定試験に合格すれば資格が与えられる。
- 2) ガスの取り扱いなどについて、各種のマニュアル・規定類を整備し活用する。
- 3) 設備の日常点検・定期自主検査を実施し、それらの結果を記録しておく。
- 4) 正しい取り扱いをするために、保安教育・訓練を行う。
- 5) 万一の事故災害に備えて、救急体制、事故通報体制、事故処理体制を明確化しておく。

保安設備

- 1) ガスを消費する設備を設置する部屋は、換気設備等を設けるなどして、漏洩した場合にガスが滞留しない構造とする。

- 2) 消費設備を設置する部屋は、緊急時に容易に避難できる構造とする。
- 3) 可燃性のガスの消費設備等には、設備に生じる静電気を除去する措置(接地)をとる。
- 4) 可燃性のガスの消費設備等には、ガスの性状に応じて、防消火設備を設置する。
- 5) 消費設備の周辺には、ガス漏れ警報機を設置すること。
- 6) 消費設備には、除害のための適切な措置を講ずること。
- 7) 消費設備・除害設備に使用する材料は、ガスの性状に応じ適切なものであること。
- 8) 消費設備等は、設置・補修時等には気密試験を行うこと。
- 9) 材料ガス・排出ガスの配管には、不活性ガスによるパージラインを設けること。
- 10) 材料ガスの充填容器を室内におく場合には、不燃性の材料で作られたシリンダーキャビネット(ボンベボックス)に収納すること。この場合、キャビネットには排気または換気の措置を講じたものであること。
- 11) 材料ガスを供給する配管には、ガスが漏洩した場合に、安全な位置において操作できる緊急遮断弁を設けること。
- 12) 設備に設けたバルブ等には、開閉方向を明示すること。また、配管には、内部のガスの種類、流れの方向を明示すること。
- 13) 空気呼吸器等の個人用防護具を、安全な場所であって緊急時に即座に対応できる場所に保管し、かつ、適切な状態に維持すること。
- 14) 消費設備の保安確保に必要な設備には、停電時でも作動するように必要に応じて保安電力を設けること。
- 15) 設備の作動状況について、月に1回以上点検を行い、異常のあるときには設備の補修、危険防止の措置を講ずること。
- 16) 充填容器の移動に際しては、指定の移動車・手押し車を使用し、容器が運搬中に動かないようにしっかり固定すること。また、ガラス容器での運搬ではコンテナに入れるなど損傷防止の対策をする。

特殊高圧ガスの消費に際しては、消費量の多少にかかわらず、上記の各項目の他、(i) 可燃性ガスと支燃性ガスのパージライン、排気ダクトの別系統化、(ii) 基準に適合したシリンダーキャビネットの使用、(iii) 逆流防止措置、(iv) ガス漏洩時の緊急除害措置等の規制の遵守と届出が義務づけられている。詳細については高圧ガス保安協会等が発行する解説書を参照すること。

8. ドライアイス

大学の実験でよく使用される寒剤の1種であるドライアイスを安全に取り扱うための注意点などについて説明する。寒剤とは、狭義では低温を得るために2種以上の物質を混合したものとされ、身近な例としては氷と食塩の混合物があり-21℃までの低温が得られる。広義では単に低温を得るための冷却材とされ、液体窒素、液体ヘリウムなどが含まれる。ここでは、前者の寒剤として多用されるドライアイスの取り扱いについて説明する。

8-1. ドライアイスの特徴

二酸化炭素(炭酸ガス)の固体がドライアイスであり、日常生活でも冷凍食品などの保冷剤としても多用されている。二酸化炭素は三重点における圧力が5.1気圧と高いため、大気圧下では液体として存在することができない。このため、ドライアイスは温度上昇しても液体にはならず、固体から直接気体へと昇華する。大気圧下での昇華温度は -79°C である。

ドライアイスは一般に以下のような工程により製造されている。まず、気体の二酸化炭素を加圧(130気圧前後)にして液化させる。この液体の二酸化炭素を急速に大気中に放出して気化させると、気化熱が奪われることにより二酸化炭素自体の温度が低下して凝固点を下回り、粉末状の二酸化炭素が生成される。これを成形することによって製品としている。なお、この製造方法による粉末状の二酸化炭素は細かい粉体(パウダースノー(粉雪)状態)のため圧縮しても固めることができない。このため、市販されるブロック状のドライアイスは、数パーセント程度の水を添加して固めている。

ドライアイスは細かく砕いて種々の液体と混合すれば、 $-60 \sim -80^{\circ}\text{C}$ の低温が容易に得られるために実験室でもよく使われる。混ぜ合わせる液体としてはアセトン、アルコールなどの有機溶媒が用いられ、エーテルを用いると -98°C 近くまで温度を下げる事が可能である。このような有機溶媒を用いる場合、換気を行うなどして作業者が気化した有機溶媒に曝露しないようにし、さらに周辺を火気厳禁にして引火に対する注意が必要である。少量の溶媒に一度にドライアイスを入れると大量に気化してふきこぼれる。これを避けるには少量の溶媒に、細かく米粒状に砕いたドライアイスを少量ずつ加え、次第に溶媒を足すようにすると良い。不用意に湿った手でドライアイスに触れると、皮膚に付着して凍傷を起こすことがあるので、専用手袋や保護めがねなどを着用し、凍傷事故防止にも努める必要がある。

8-2. 二酸化炭素の有毒性

二酸化炭素は非常に馴染みのある物質であるが、それ自体に毒性があり、濃度が高くなると中毒症状が現れる。二酸化炭素の中毒症状を表8-1にまとめるが、濃度3%前後から症状が現れ、濃度25%以上で死に至る事例が出始める。二酸化炭素が呼吸中枢を麻痺させて自発呼吸が停止し窒息するとされている。哺乳類を用いた動物実験では、二酸化炭素80%と酸素20%の混合気体中では、1分程度で呼吸が停止し、10分程度で心停止したとの報告がある。このため、狭い空間内でドライアイスを取り扱ったり、一度に多量のドライアイスを取り扱ったりする場合は、ドライアイスの気化による酸素濃度の低下に注意するとともに、二酸化炭素自体の中毒にも注意する必要がある。具体的には、ドライアイスは換気の良い部屋で取り扱う、ドラフトチャンバーなど局所排気装置のある場所で取り扱う。さらには、必要に応じて、酸素濃度計や二酸化炭素濃度計などのガス警報器を設置するなどの対策も有効である。

表8-1 二酸化炭素中毒の臨床症状

濃度	臨床症状
3%	呼吸数増加, 顔面温感
4%	過呼吸, 頭痛, めまい, 顔面紅潮, 徐脈, 血圧上昇
5%	頻呼吸, 熱感, 血管拡張, 悪心, 嘔吐
6%	意識レベル低下
8%	肺うっ血, 呼吸困難
10%	数分以内に意識喪失
20%	呼吸・脈拍促拍, 集中力低下
30%	ほんの僅かの呼吸で意識消失, 短時間で死亡の危険
50%	昏睡, 死亡

(出典)平川昭彦他, “ドライアイスによる急性二酸化炭素中毒の1例”,
日本職業・災害医学会誌, 第55巻, 第5号, 229ページ, 2007年.

8-3. 換気方法について

二酸化炭素は分子量が大きく、ドライアイスから昇華した二酸化炭素は温度が低いために気体密度も高く、下の方へと流下して滞留する。このため換気については、部屋の上部を風が通るだけでは不十分で、部屋の下部(できるだけ床の直上を)を風が通るようにすべきである。具体的には、入口扉の下部などに付いているガリ部分を開ける、エアコンや扇風機などの風が床面付近にも通るようにして部屋全体の空気を対流させながら、換気扇などを用いた全体換気を行うなどである。

乗用車を用いて大量のドライアイスを運搬することは避けるべきであるが、やむを得ない場合は、窓を開けるなど換気には十分注意しなければならない。大量のドライアイス長時間車内に放置すると、車内空間が狭いため、上で説明したように酸素欠乏と中毒の危険性が非常に高まる。特に運搬途中の休憩などで長時間車内に放置してはならず、目的地に到着したら直ちに所定の冷蔵庫などへドライアイスに移さなければならない。なお、乗用車のトランクルームは人が乗車する空間と繋がっているので、ドライアイスを入れたとしても本質的に何も変わらないので換気などの対策は必須である。

【事故例】

学生実験でドライアイスを用いた実験が行われていた。ところが、一人の学生がドライアイスを持って帰ろうとして、ステンレス製の真空断熱構造の水筒に入れてフタをし、そのまま学生実験を続けていた。しばらくしたら、大きな音とともに水筒のフタが吹き飛んだ。水筒の中で徐々にドライアイスが昇華し、内部が高圧状態になったと思われる。

9. 酸素欠乏対策

狭い実験室での作業中にボンベから大量のガスが噴出すると一時的に酸素欠乏状態となる。特に液体窒素を取り扱う際には、常に気化して窒素ガスが発生しているので、

酸素欠乏の危険性は高まる。過去に大学や研究機関で液体窒素による酸素欠死亡事故も発生しているので、それぞれの実験室などでの状況に合わせて、適切な対策を取る必要がある。

人間は酸素欠乏状態になっても、いま自分が酸素欠乏状態であると認識するのは非常に難しい。特に、正常状態から徐々に酸素濃度が下がっている状況では、意識レベルも徐々に低下し、むしろ心地よく感じたりするとも言われ、何かおかしいと認識した時点では手遅れな場合もある。また、ガスの噴出などで酸素濃度が一瞬で低下した場合、あるいは、酸素濃度が低下している部屋に飛び込んでしまった場合、呼吸によりその空気が肺に取り込まれると、肺胞で酸素と二酸化炭素交換が出来ないため、更に空気を取り込む反射が起きる。自らの意思に関係なく次の呼吸が起こり、酸素濃度の低い空気が更に肺に取り込まれるため、血中の酸素が肺の中へ大量に放出される。この酸素濃度が低くなった血液が体内に送られた瞬間、意識を失って卒倒する。このため、必ず実験や作業をする前に酸素対策を行っておく必要がある。

9-1. 酸素欠乏危険箇所の表示

液体窒素を扱う部屋、暗室などの化学反応や化学処理をする狭い部屋、大量の高圧ガスを使用する部屋、燃焼実験などが行われる部屋などは酸素欠乏の危険がある。日常的に実験や作業を行っている当事者は危険に対する認識をもっているが、それ以外の人はその危険性を正しく認知することは難しい。そこで、まずは、その場所で日々の実験や作業に携わっている人が危険性の確認を行い、酸素欠乏が起こる可能性がある場所には、適切な危険表示や標識などを設置して注意喚起を行う。この表示等は少し離れた位置からでも分かるように大きく目立つ文字で「酸素欠乏」のような警告標識とともに、その近傍に「液体窒素使用時は酸素濃度が低下します」と具体的な危険を示す表示や「液体窒素使用時は定期的に窓を開けて換気すること」のように危険に対する対応方法を示す表示を設けることが望ましい。また、その実験室の管理責任者は、表示が古くなって見えにくくなっていないか、新しい装置の導入などで標識が隠れていないかなど、その後の維持管理についても定期的に確認する必要がある。

9-2. 換気の実施

酸素欠乏事故の危険性がある場合には、換気扇を設置する、実験時には窓や扉を開けることを必須にするなど、その状況に合った換気対策をしなければならない。そして、その対策が徹底されるように表示などを設けるべきである。併せて、その危険性のある場所で実験や作業を行う者は、危険性を十分に認識し、換気設備の使い方など換気対策についても理解しておく必要がある。実際に実験などを行う時、換気扇のスイッチを入れる、窓や扉を開けるなどの対策は、実験や作業を行う前に必ず行う。実験などを始めた後に多少息苦しくなったら対応しようというのは間違いである(上述したように人間は酸素欠乏状況の認識が遅れるため)。液体窒素などの使用中に、機器のトラブルなどにより大量気化が発生したり、液体窒素容器などを倒して大量流出するなど、換気能力が足りないと思われる事態が発生した場合には直ちに避難しなければならない。また、実

験室の管理責任者は、換気設備が所定の能力を維持できているか、利用を指示する表示が古くなっていないかなど、定期的な維持管理も行う必要がある。

9-3. 酸素濃度計の設置

酸素欠乏に対する危険性が高い実験室には酸素濃度計を設置して警戒態勢を整えることが望ましい。また、場合によっては、実験者や作業者が個々人で酸素濃度計を身に付ける方が効果的な場合もあるので、その実験状況・作業状況をよく勘案して対策を講ずること。

酸素濃度計には次の2つの働きがあることを理解し、これらの機能が十分に発揮できるように酸素濃度計を設置する必要がある。

- 1) 実験室等の内部にいる人に、酸素濃度が低下していることを警告し、退室を促す。
- 2) 実験室等の外部にいる人に、室内が酸欠状態になっていることを警告し、入室を抑制する。

このため、室外からも酸素濃度が確認できるような場所に濃度計を設置する、室外に濃度の表示計を設置する、室外から酸素濃度が下がっていると分かる警報端末(例えば「酸素濃度低下」表示を伴うパライト)を設置するなど、各実験室の状態や作業状況に合った対策を取る必要がある。どうしても室外に酸欠状態を警告する機器の設置が難しい場合には、入口扉等に酸素濃度計が室内に設置されていることを明示し、警報音が鳴っているときは不用意に室内に入らないように注意する掲示を必ず行う。

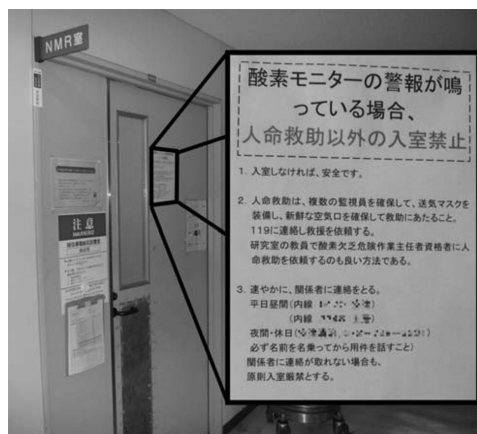
酸素濃度計が設置されたら、その後の運用においても注意しなければならない。

- 1) 酸素濃度計を設置した場合、その研究室などの構成員全員に対して、酸素濃度計を設置したこと、どのような状況で警報が鳴るのか、警報が鳴った時の初動はどうするかなどの基本事項について周知徹底を図る。
- 2) 酸素濃度計が設置されている部屋で実験などを行う人は、設置されている酸素濃度計の取扱説明書を読むなどして、表示値の校正、停電からの復旧操作などの基本操作を習得する。
- 3) 通常の新鮮な空気であれば酸素濃度値は20.9% (機種によっては21%)を示すので、正常時にこの値となっていることを確認する。時々動作確認のために、センサーに息を吹き掛けて表示値が下がるか確認する。
- 4) センサーの方式によっては毎日校正が必要なものがあるので、取扱説明書などに従って定期的な校正を正しく行う。
- 5) センサー素子によっては有効期限があるので、設置後の機器の維持管理も正しく行う。

9-4. 異常時における対応

もし、頭痛や脱力感などの自覚症状を感じた場合は、換気扇が作動していることを確認すると共に、室外に出て新鮮な空気で呼吸すること。万一意識を失った者がいるときは、二次被害の恐れがあるため(低酸素濃度の空気を吸い込むと、肺では酸素を摂取できないため、一呼吸でも酸素欠乏状態に陥り意識不明となる恐れがある)、ひと

りでは室内に入らず、送気マスク等を着用して必ず複数で対応すること。その際、ひとりでは廊下で送気マスクの吸気口に新鮮な空気を取り込まれるように、もうひとりが送気マスクを装着して室内にはいり、意識を失った者を安全な場所に移動させる。その後、気道の確保などの救命処置を施し救急車を呼ぶか医師の来援を求める。



酸素濃度計の設置された部屋に張られた掲示の例



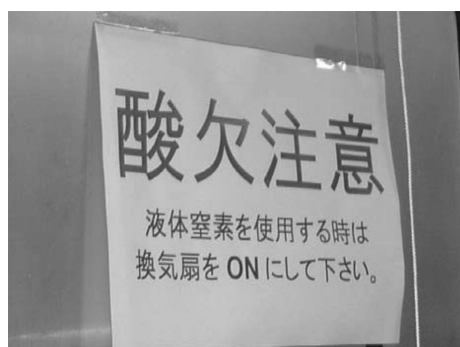
換気扇と注意を促す看板の設置



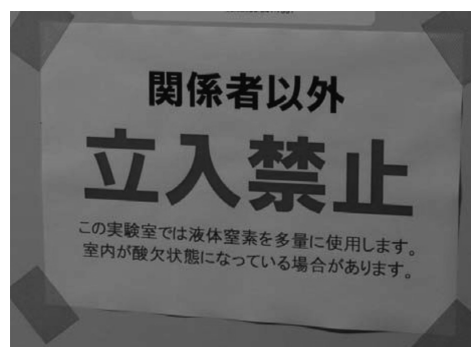
実験作業中に小型酸素濃度計を携帯する



高圧・液化



良好事例(その1)



良好事例(その2)

【事故例】

通気性の良くない実験室で大量に液体窒素を使用しているうちに、空気中の窒素濃度がしだいに増え、限界値を超して2名の死者を出す悲しい事故が、新聞で報じられた。酸素欠乏の自覚症状がいかに関りないものであるかがわかる。

IX. 機械工作の安全のために

IX. 機械工作の安全のために

1. はじめに

ここでは機械一般、特に機械工作における「安全のための手引」として、取り扱い上の注意事項について記述する。

研究室で使用される工作用の機器や機械は、家庭などでも使用される日常的なものから、ある特定の目的だけに使用される特殊なものまで、種々雑多で実に多様である。このため、多くに共通する基本的な注意事項に重点を絞り、個々の機器についても広く一般的に取られる対策を中心に説明する。

機械の取り扱い中に起こる事故の大半は、後で考えてみると、その原因を容易につきとめることができ、何故こんなことに気付かなかつたかと後悔の念にさいなまれることが多い*1。実に分かり切った簡単なことから起こっている場合がほとんどで、始業前に安全点検を行うことによって事故の大半は防ぐことができる*2。このため、共通的な基本事項については確実に習得して欲しい。

大学は、その工作機械に関する熟練作業者の養成ではなく、研究者の育成を主な目的としているため、機械工作に関する基本事項を系統的に学んだり、実習などにより基本操作を身に付ける機会が限られている。このため、研究の都合上、知識の自発的な獲得と、熟練者へ積極的に指導を仰ぐ姿勢が重要である。また、自分自身を守るための防護手段の習得や防護器具の着用も必要である。

民間企業における労働中の災害発生を防ぐために、法令等により様々な安全基準が設けられている。これは長年にわたる労働災害を教訓に、その英知が積み重ねされたもので、その分野の専門でない者が就職などにより現場作業に従事することになった場合でも、事故防止の観点から注意すべき事項がまとめられている。この本文中での幾つか引用しているが、このような基準なども是非参考にして欲しい。

*1 服装の不備や乱れ、足下や周辺の整理不十分、生半可な知識による作業、間に合わせの工具による作業、疲労や焦りが伴った作業など。

*2 少なくとも作業を始める前に、次の安全のための5原則を点検することが望まれる。

1. 正しい服装
2. 作業場所の整理整頓
3. 作業の手順、方法
4. 機械工具の正しい使用
5. 平静を保てる体調

2. 作業服及び保護具

- 1) 作業服は体にぴったり合った軽快なもので、長そで・長ズボンを着用すること。それで口をしめ、上衣の裾をズボンの中に入れる。大きなポケットのないものがよい。
- 2) 作業服のほころびは引っかけたり、機械に巻込まれたりするので繕っておくこと。
- 3) 機械や動力伝達装置の付近で作業するときは、よく頭に合った作業帽で頭髮を

包むこと。頭部の傷害が起こりうる環境では安全帽を着用すること。

- 4) 作業中に切り粉などが飛んでくるので、保護めがねを着用する。さらに、危険が予想されるときは、それぞれの作業に適した保護具を使用すること。
 - ・防じんめがね、防じんマスク、保護面：グラインダーや、ばり取り作業の場合に、飛散する切り粉や粉じん、また有害薬液の飛沫が目に入ることを防止する。それぞれの場合に適したものを選ぶ。
 - ・しゃ光めがね、しゃ光面、皮製手袋、皮製足カバー、皮製前掛け(溶接作業の章を参照のこと)：溶接作業のように有害光線のしゃ光を目的とする。作業に応じて選択する。
- 5) 素足にサンダル、ぞうり、スリッパなどを使用しないこと。滑りやすい履物をさけること。足のケガは割合多いので固い靴を使用し、重量物を取り扱い場合は日本工業規格(JIS)の安全靴をはくことが望ましい。
- 6) ネクタイ・手ぬぐいなどを首に巻かない。手ぬぐいを腰にぶら下げない。白衣を着用しない。手袋、布切れなどを持って作業しない。
- 7) 引火しやすいもの、とがったものをポケットに入れないこと。
- 8) 回転部分、高速往復部分がある機械では、巻込まれるおそれがあるので手袋(軍手など)を使用してはならない。
- 9) 作業服は清潔にしておくこと。特に油や引火性溶剤のしみこんだ作業服は火がつきやすいし、皮膚がかぶれる。



白衣・軍手使用禁止

【事故例】

旋盤でサンドペーパーを用いて表面仕上げの作業中、軍手及び作業衣が工作物とチャックに巻きこまれ、体ごと旋盤に引きこまれて、左手親指伸筋腱断症、神経分断、左側頭部及び左肩挫傷で全治1ヶ月の重傷を負う。

3. 整理整頓と災害防止

作業室の整理整頓は物品管理、作業能率のほか、災害防止にも役立つ。安全な通路は常に確保しておかなければならない。

- 1) すべての物の正しい置き場所と置き方を定める。
- 2) 使用者全員が協力して常に最良の状態に保つよう管理する。
- 3) 機械・器具・工具の置き場と通路を区画する。機械間に設ける通路は幅80cm以上とすること。



周囲の整理整頓

- 4) 作業者が多すぎて、作業の安全や能率を阻害してはならない。
- 5) 器具を積みすぎたり、不安定・不注意な置き方をしてはならない。
- 6) 作業のための活動範囲にある床上・中吊りの障害物は取り除くこと。
- 7) 加工材料・工具等は足下に置かず台上に置くこと。

4. 作業場所の選定、障壁の設置、立入禁止

ハンマの使用で、頭が柄から抜けて飛ぶといったような事故や、削りくずや品物が飛ぶことが予想される場合には、災害防止のため作業場所を選択し、可能であればつい立てなどの障壁を設けて安全を考える必要がある。また、立入禁止の標示が必要な場合もある。

滑るので床を油でぬらさないことも重要である。作業前後に削りくずなども掃除して整頓すれば危険箇所が見つけれられる。

5. 機械による危険の防止に対する一般基準(労働安全衛生規則 第2編 安全基準から)

- 1) 原動機、回転軸、歯車、プーリー、ベルト等の作業者に危険をおよぼすおそれのある部分には、覆い、^{おお}囲い、スリーブ、踏切橋を設けなければならない。
 - ① 回転軸に回転体を取付ける止め具は埋頭型のものを使用するか、覆いを設けること。
 - ② ベルトの継目には、突出した止め具を使用しないこと。
- 2) 通路または作業箇所の上にあるベルトで、プーリー間距離3m以上、幅15cm以上、速度10m/s以上の時は、その下方に囲いを設けること。
- 3) 機械ごとにスイッチ、クラッチ、ベルトシフター等の動力しゃ断装置を設けること。
- 4) 機械の運転開始に当たって、作業者に危険をおよぼすおそれのあるときは、合図を行うこと。
- 5) 加工物等が切断し、または欠損して飛来し、あるいは切削屑が飛来して作業者に危険をおよぼすおそれのあるときは、覆い、又は囲いを設けること。ただし、作業者に保護具を使用させてもよい。
- 6) 機械掃除、給油、検査又は修理の作業を行う場合、作業者に危険をおよぼす恐れのあるときは、機械を停止して行うこと。運転中に行うときは安全な対策を講じること。機械を停止したときは、他人が運転することを防止するため、起動装置に施錠するか表示板を取り付けること。
- 7) 動力により駆動される機械に、作業者の頭髪又は被服が巻き込まれるおそれのあるときは、作業者は適当な作業帽又は作業服を着用しなければならない。
- 8) ボール盤、面取り盤等回転する刃物に、作業者の手が巻き込まれるおそれのあるときは、手袋を使用してはならない。

6. 機器の自作に当たっての注意事項

設計・製造・作業あるいは管理上のミスによって、特に災害を発生しやすい機器については、労働安全衛生法や関係する法規によって詳細な安全基準等がある。該当

機器の設計や自家製造に当たっては、必ずこれらの資料を参照して、その安全基準等を満たすようにしなければならない。

7. 工作機械使用に当たっての一般的注意事項

7-1. 作業前の注意

- 1) 使用機械について、加工原理・作業法・取り扱いに関する知識をもつこと。
- 2) はじめて使うときは、熟練者の実地指導を受けること。手軽に扱ってはならない。指導事項を超えて使うときは必ず熟練者に相談せよ。
- 3) 工作法には、経験に基づいた基本的・合理的な作業方法と手順がある。また、機械に適合した形状・寸法の刃物や作業具がある。生半可に「間に合わせ」や「応用」を試みてはならない。
- 4) 機械の仕様の範囲外の作業をしてはならない。
- 5) 機械の運動部分とその範囲を確認すること。どこが回転するか、往復するラムやスライドの動く範囲と張り出し量を調べること。
- 6) 安全のために取り付けてある装置や器具を勝手に外してはならない。
- 7) 機械はよく手入れをし、周囲は整理整頓し、作業のために移動する範囲を安全にしておくこと。床上の油ぬれ、切屑の散在は危険である。
- 8) 部屋の中で、自分一人で作業することは避けた方がよい。
- 9) 機械・刃物・工具類・安全装置は使用前に必ず点検すること。潤滑油の状態、機械のアースも調べること。

7-2. 作業中の注意

- 1) まず機械の状態を点検すること。スイッチを入れる前に、ハンドル・ボタン・レバー位置などの操作部を調べたのち、空転させてみて異常のないことを確認する。音にも注意する。
- 2) 切削条件を、手引き・熟練者の助言・推奨表などによって選ぶ。推奨条件範囲の中で、軽い条件からはじめ、切削状態を確認しながら重い条件に変えていく。
- 3) 機械には、作業中ゆるめておくべき部分としめつけておくべき部分がある。その状態を確認すること。スパナ・レバー・ハンドルを突込んだままにしておくと、運転開始のとき大変なことになる。部分をゆるめすぎて、下に落とすことのないよう注意すること。
- 4) 刃物・加工物を確実に取り付けること。大きさの小さいもの、掴みにくいものは特に念入りに行うこと。回転体では偏心とバランスが重要である。
- 5) 機械の操作は確実に行うこと。金属材料の切削に際しては、決して無理な力を与えたり、焦って送り速度を急速に上げたりしてはならない。回転歯が金属に食い込み事故になる。
- 6) 作業中、異常を発見したときは直ちに運転をとめ、監督者か熟練者に連絡して措置すること。
- 7) びびり出したら(振動・奇音・びびりマークの発生)、作業を中止して、原因を調

べること。切削条件を安定側の条件(例えば切削速度・切込み量の低下、刃物・加工物の取り付け条件の改善など)に変更すること。

- 8) 刃物・砥石は使えば切れなくなる。いつもよく切れるものを使うべきである。
- 9) 回転しているものには、絶対手をふれぬこと。手袋の使用は厳禁である。
- 10) 不自然な姿勢で操作してはならない。よろめくと危険である。
- 11) 切削箇所を加工中にのぞき込むことは危険である。
- 12) 切削中、工作物、切屑は高温になるので、やけどと切傷に注意。機械・刃物・加工物にからんだら、機械をとめて取り除くこと。
- 13) 研削作業で出る火花は高温の切屑である。
- 14) 加工物の寸法測定は機械を止めて行うこと。
- 15) 停電したときは、まずスイッチを切り、ついでベルト・クラッチ・送り装置を遊びまたはニュートラルの位置に移すこと。切込んでいた刃物を離すこと。
- 16) 機械を止めるとき、惰力で回転しているものを無理に止めないこと。特に手足、工具、棒で止めることは危険である。
- 17) 切削中、刃物を切込んだままで機械を止めず、必ず引き離してから停止させること。
- 18) 機械上の定められた場所以外のところに工具や測定具を置いてはならない。

【事故例】

旋盤作業中、チャック回し用ハンドルを取り付けたままスイッチを入れ、ハンドルとベッド間に指をはさまれて左手中指に5針の切り傷を負う。

7-3. 切削油に対する注意

切削油には不水溶性油(油の状態を使うもの)と水溶性油(大量の水に稀釈して使うもの)がある。それぞれの作業に適したものを選択して使用する。人体に対する障害としては、不水溶性油では^{ゆしん}鉱油による油疹、水溶性油では脱脂作用とアルカリによる刺激によって皮膚障害を起こすことがある。

- 1) 不水溶性油には灯油、スピンドル油を混入したものが多い。引火に注意すること。故障によって発生する摩擦熱で引火、火災になった例もある。
- 2) 作業後はすぐに手を洗って、清潔な状態に戻さないと油まけをする。油じみた服をいつまでも着ていると、同様に皮膚炎症を起こす。
- 3) 油まけのひどい人は防護クリームを使用するとよい。油まけの程度は体質にもよるが、初心者が多い。
- 4) 切削油で手を洗ってはいけない。油まけをするし、切屑で手を切るほか、油も劣化しやすい。
- 5) 水溶性油は、とくに夏季では細菌が繁殖して腐敗しやすい。悪臭を発生、黒ずんできたときは廃棄して、タンクを洗浄すること。このようになった切削油は効果もない。
- 6) 不水溶性油も酸敗して、劣化する。
- 7) 作業中、発煙するときは排気すること。硫化物・塩化物を添加した極圧油の煙を

吸ってはならない。

8) 切削箇所から切削油を飛散させないこと。作業中、手足が滑って危険である。このような場合は飛散防止装置が必要である。

9) 切削油、潤滑油などを廃棄するときは、地区環境保全委員会の指示に従うこと。

8. 各種工作機械における注意事項

一般的注意は前項のようであるが、工作機械の種類を限定して、個別に注意を述べる。

工作機械には切削機械(旋盤、フライス盤、ボール盤等)や研磨機械(グラインダー)などがある。これらの工作機械にはそれぞれの機械に適合した形状・寸法の刃物や作業具があるので、機械の仕様を確認し、適合したものを使用しなければならない。

なお、繰り返しとなるが、使用法の分からない場合は、工作機械を絶対に一人で扱ってはならない。中途半端な知識が大きな事故を引き起こしてしまう。危険防止策は習熟以外にはない!

8-1. 旋盤

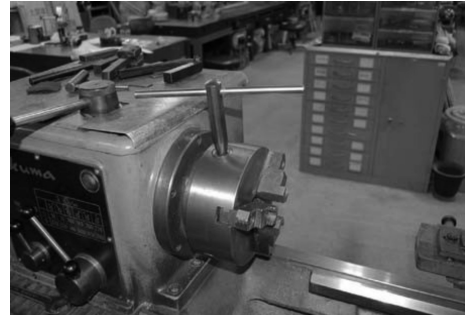
- 1) 材料を旋盤のチャックにしっかり固定したら、チャックハンドルを外したことを必ず確認する。
- 2) 長い加工物を切削するときは、振れ止めを用いること。チャック仕事では、まず心押センターでうけること。
- 3) 心押台を使用しないときは、ベットの端に置くか、取り外しておくこと。
- 4) バイトは作業に支障のない限り、できるだけ短く取り付けること。バイトの取換えは運転中に行ってはならない。
- 5) 作業中のぞきこまぬこと。必要などき以外はできるだけ作業点から身体を遠ざけておくこと。
- 6) 切屑や切削油を飛散させぬこと。この状態がひどいときは、防護カバーをし、あるいは衝立を使用すること。
- 7) 筆などで切削油を工作物に塗布しても余り効果はないが、やむをえず行うときは巻込まないように注意すること。
- 8) 荒削り面に手をふれぬこと。手袋の使用禁止。
- 9) 油砥石をかけるとき、またペーパーをかけるとき、身構えに十分注意し、砥石等を外さないようにすること。

【事例】

旋盤作業中、工作物から流出する切りくずを手で触り、手のひらに切り傷を負い、神経が切断された。



旋盤



チャックハンドル

8-2. ボール盤

- 1) ドリルをしっかりとチャックに取り付ける。
- 2) ドリルがドリルチャックの中心に取り付けられているか、ドリルチャックを手で回して確認する。ドリル先端がふれ回りをしている状態で作業をしてはならない。ドリルをつけ直すか、ドリルを取り換える。
- 3) チャックハンドルでしっかりとドリルを固定したら、チャックハンドルを外したことを必ず確認する。
- 4) よく切れるドリルを使用すること。切れないと、押付け力が大きくなってドリルが折れる。
- 5) 小さな材料であっても、材料を手で固定しない。材料が振り回されて危険である。材料が作業台に固定できない場合は、クランプなどを使用して固定する。
- 6) 材料が振り回されるのは、穴あけ終了時とドリルを抜くときに多い。薄板に穴をあけるときは、木片を下に敷いてともに穴あけするとよい。
- 7) ドリル回転中に切りくずを手で払わないこと。手袋の使用を禁止する。頭髪や衣服が巻込まれないように注意すること。
- 8) 適当なドリル形状、周速度、1回転当りの送り(送り速度)などは作業条件推奨表などを参照して選定すること。

【事故例】

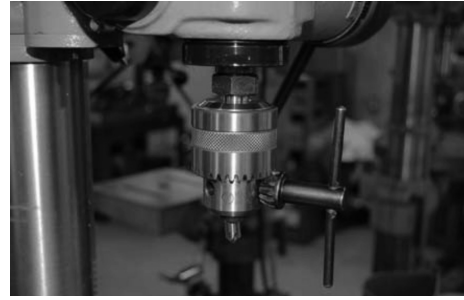
ボール盤を用いて厚さ1mmの銅板に穴あけ中、ドリルが銅板に食い込み、銅板試料の固定不十分のため、試料が振り回され左手小指に切り傷を負った。



ボール盤



ボール盤使用時、軍手・手ぬぐい禁止



チャックハンドル

8-3. グラインダー

研究室等で多く使用されるものは、研削盤、ベンチグラインダー、ポータブル(手持ち)グラインダーである。これらの作業で最も危険なものは

- ア、砥石車の破壊とその破片の飛散(遠心力による破壊、異物の衝突などによる破壊)
- イ、加工物の飛散(取付けの不具合など)
- ウ、切屑の飛散(保護めがねの着用、シールドの使用)

であり、大きな災害を起こしやすい。このため、作業の一般については労働安全衛生規則、また、砥石と研削盤の構造に関しては研削盤等構造規格によって厳重な規制がある。



グラインダー

[適正砥石車の使用、砥石車の取り替え、及び試運転]

- 1) 研削盤、あるいはグラインダーの仕様に定められた形状、寸法(外径、内径、厚さ)及び最高使用周速度の砥石を使用しなければならない。砥石の仕様(砥粒の種類、粒度、結合剤、結合度、組織)については、作業内容に応じて推奨表などを参照して選択すること。
- 2) 砥石車をそのラベルに表示してある最高使用周速度を超えて使用してはならない。
- 3) 砥石車の取り替え及び試運転は、必ず熟練した者(特別教育修了者)が行わなければならない。
- 4) 砥石車を取り替えたときは、少なくとも3分間以上の試運転(空転)を行わなければならない。これによって、欠陥砥石、砥石取付けの不具合などをある程度発見でき、災害防止に役立つ。このとき、作業者は砥石の回転面内付近に位置しないこと。
- 5) 砥石車は、スピンドルに取付ける前に木ハンマなどによる打音試験などを行い、亀裂の有無を調べること。
- 6) スピンドルに装着したとき、静的バランスの悪い砥石は使用しないこと。
- 7) 砥石車を締めつけるフランジの直径は、砥石車の直径の2分の1以上あることが望ましいが、少なくとも3分の1以上のものを使用し、両面とも同径にすること。

- 8) フランジと砥石車を締めつける面は、同径の紙、ゴム板などをはさみ(砥石車に紙ラベルがついておればそのままでもよい)、締めつけ圧力が等分布されるようにすること。
- 9) 砥石車は絶えず点検し、異状磨耗・目づまりなどを発見したときはこれを修正(目立て、形直し)すること。切味の落ちたときも同様である。破壊・亀裂を発見したときは直ちに取替えること。
- 10) 側面を使用することを目的とする以外の砥石車、例えば平型砥石(円板状の砥石)は側面を使用してはならない。破壊しやすい。
- 11) 砥石車は衝撃に対して弱いから、取り扱い、運搬、格納の際は注意して扱い、落としたり、衝撃を与えてはならない。
- 12) 直径50mm以上の砥石車には、安全のため必ず保護覆い(保護カバー)を必要とする。

【事故例】

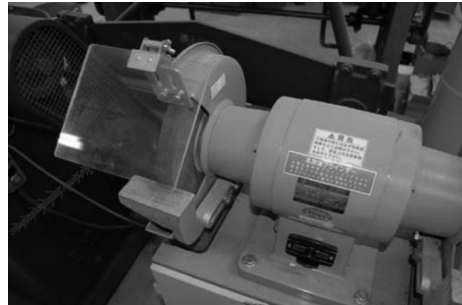
保護めがねをかけず研削中、鉄粉が左眼に入り、激痛と炎傷で完治まで1ヶ月を要した。

[ベンチグライダ作業]

- 1) 砥石車が破壊したとき、その破片は遠心力で飛散するから、作業者は砥石車の回転面内に位置しない。
- 2) 直径50mm以上の砥石車には、安全のため保護カバーがあるので、必ず使用する。
- 3) 砥石車と保護カバーの間に加工物を落し込んだために起こる砥石車の破壊をさけるため、落し込まないようにワークレストの位置を調節して、常に砥石外周とのすきまを3mm以下としておくこと。
- 4) 作業開始前に1分間以上空転してみて、砥石車の安全と機械の異常を確かめること。このとき、作業者は砥石回転面内から離れて位置すること。
- 5) 加工物は手でしっかり持つこと。また、必要以上に砥石に手を近付けないこと。絶対に指を巻き込まれないようにする。小片や、手に油がついていると、加工物が飛びやすいので注意すること。持ちにくいものはホルダに固定して持つこと。ペンチなどで挟んで研磨することはかえって危険である。
- 6) 加工物を砥石車に衝突させぬこと。
- 7) 平型砥石車では、側面の使用は禁止されている。
- 8) 加工物は加熱され温度上昇してくる。熱さで手を離さない対策も必要である。
- 9) 鉄鋼を研磨するときに発生する火花は温度上昇した切屑である。やけどをしないように注意すること。付近に燃えやすいもの、例えばウエスを置かないこと。引火のおそれがある。
- 10) 切屑が目に入るのをさけるため、機械に保護用の透明樹脂板製のシールドをつけるか、保護めがねを使用すること。
- 11) 惰力で回転中の砥石車を手で止めようとしないこと。

【事故例】

グラインダー作業で試料を手づかみで研削中、試料の加熱によって思わず手をゆるめたとたん試料が飛び、窓ガラスを破損、作業者の位置によっては大事故となる場所であった。



保護カバー



グラインダー使用時、軍手・手ぬぐい禁止

[ポータブルグラインダ作業]

上と同様な注意がいることは無論である。さらに

- 1) グラインダー仕様で規定された直径以上の砥石車を用いてはならない。
- 2) 砥石はガラスクロスを入れて補強したレジノイドを使用するのが普通である。
- 3) 惰力で回転中のグラインダーを床上においてはならない。また、床上に置いたとき、誤って起動しないような構造のものを選ぶこと。
- 4) グラインダーの電気コードは、感電ないように被覆の完全なものを使うこと。また、このコードにつまづかぬように注意すること。
- 5) 砥石車の軸方向の使用をさけること。破壊しやすい。
- 6) 法規によって、保護カバーの形状・寸法・材質が定められている。これを変更したり、取り外してはならない。
- 7) グラインダーを手でしっかり持ち、かつ、足もとが安定していることを確認したうえで作業を開始すること。
- 8) 加工物も飛ばないように確保しておくこと。
- 9) 服装の一部や、付近のウエスなどを巻き込まぬように注意すること。

8-4. コンタマシン

- 1) のこ刃の切口部は、出来るだけ短くする。
- 2) 小さい材料を扱う場合は、指先を切断しないよう、必ずガードを使用する。
- 3) 切り終わりの時は、材料が動く可能性が高いので注意!



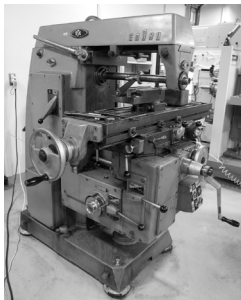
コンタマシン



ガイド使用

8-5. フライス盤

- 1) 材料や刃物は確実に固定する。
- 2) 刃物の取替時は、刃物をウエス等でつかみ、素手では持たない。
- 3) 刃物が回転中は絶対に手を触れない。
- 4) 切削中は作業場所から離れない。



横フライス盤



縦フライス盤

【事故例】

フライス盤が完全に停止しない内に加工物を見ようとして手を伸ばし、その瞬間に切削用の歯に巻き込まれ、左手第1指に15針も縫う傷を負った。

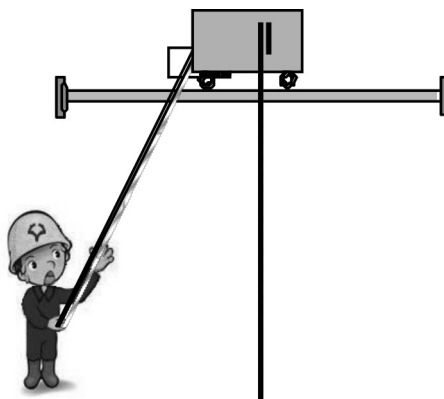
X. 吊り上げ作業の安全のために

X. 吊り上げ作業の安全のために

1. はじめに

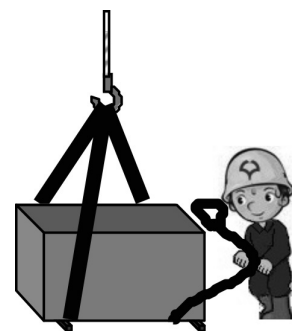
重量のある装置や部品を扱う実験室では、チェーンブロックなどを用いて吊り上げて移動させる作業が行われる。重量物を移動させるので、落下や衝突などが発生すると非常に大きな事故となる。最悪の場合には人命に関わる事故に至ることもある。そこで、ここではチェーンブロック、天井クレーン、跨線テルハなどの機器を用いて吊り上げ作業を行う際の注意点についてまとめる。

なお、国家資格や民間企業での業務区分などに合わせて、玉掛け作業、チェーンブロック操作、クレーン等操作に分けて説明する。



2. 玉掛け作業

玉掛け作業とは、吊り具を用いて行う荷掛けおよび荷外しを行う作業をいう。具体的には、移動させたい対象物をクレーン等のフックで吊るために玉掛用具(玉掛け用ワイヤロープなど)を利用して対象物を吊り上げる準備の作業、フックへ掛ける作業、および、フックからの取り外す作業をいう。手動式チェーンブロックを用いた吊り上げ



作業であれば資格等は不要であるが、電動式チェーンブロック、天井クレーン、跨線テルハなど動力を用いた吊り

上げが行われる場合は、吊り上げ能力に応じて、法令に基づく特別教育、技能講習が必要である(クレーン運転士免許などを持っていても玉掛け作業はできない)。

玉掛け作業が適切に行われないと、玉掛用具が荷重に耐えられずに荷物が落下したり、吊り上げた荷物などがバランスを崩したり、吊り上げた状態で荷物が回転するなど事故につながるため、有資格者や経験者の指示に従うことが必要である。特に注意を必要とする事項を以下にまとめる。

- 1) 作業前にワイヤロープなど玉掛け用具を点検し、不具合のあるものは使用しない。下記のようなワイヤロープは使用禁止とすること。
 1. 一よりの中で素線の10%以上が切断したもの。
 2. キンク(よじれた)したもの……キンクすると切断荷重が約半分に下がる。
 3. 著しい形くずれ(ストランド(小綱)のへこみ、心綱のはみ出しなど)のあるもの。
 4. 著しい腐食のあるもの。

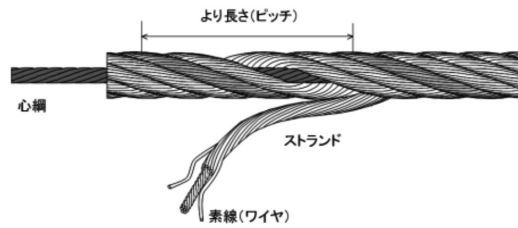


図 ワイヤロープの構造図

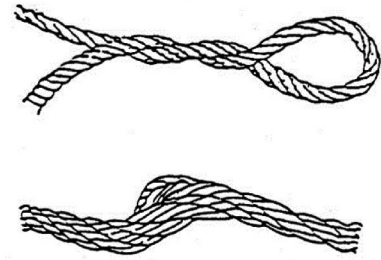


図 キンクの例

- 2) チェンブロックなどの吊り上げ能力や制限荷重、使用する玉掛け用具の耐荷重（破壊荷重）、吊り上げようとする荷物の重量は正確に把握し、定められた荷重を超えて荷を掛けてはならない。
- 3) 一本吊り(1本1点吊り)は荷物が動揺したり、外れて落ちやすいので極力避けるべき。
- 4) 荷物の重心が低くなるように吊り、バランスも考慮すること。
- 5) 荷物を吊り下げた状態でワイヤロープ等がなす角度(吊り角度)は適正な範囲となるように吊り、安全係数は6以上(ワイヤロープ等に係る力が破壊荷重の1/6以下)としなければならない。
- 6) ワイヤロープ等が傷つきやすい個所には、必ず“当てもの”をする。
- 7) ぶつけて困るような荷物の角にも、事前に“当てもの”をする。
- 8) ワイヤロープ等の端を固定するときにはクリップなどを使用して確実なものとする。
- 9) 吊り荷を着地させた(ワイヤロープ等が緩んだ)時に、ワイヤロープが外れる場合があるので注意する。

資 格	つり上げ荷重 (ton)	
	1.0ton 未満	1.0ton 以上
玉掛け技能講習修了者	○	○
玉掛け特別教育受講者	○	

3. チェンブロック操作

手動式チェンブロックや電動式チェンブロックなどのうち次の「4. クレーン等操作」に該当しない小型機器の場合には、特に資格等がなくても操作が可能である。しかし、このような場合でも、熟練者による指導を受けるなど、基本事項を習得した上で作業を行わなければならない。以下に主な注意点をまとめる。

- 1) 作業前にチェンブロック等の重要部分を点検する。また、必要に応じてチェン部分などに注油する。
- 2) チェンブロック等を構造物などに取り付けるときは、その強度や変形等の状況を確認して、必要に応じて補強等を行う。仮設の支柱などでは滑り止めなどの対策も講じる。

- 3) チェーンブロック等の吊り上げ能力および吊り上げようとする荷物の重量は正確に把握し、定められた荷重を超えて荷を吊り上げてはならない。
- 4) 吊り上げ直前にも、ワイヤロープなどの玉掛け用具が、荷物に確実にかかっていること、また、チェーンブロック等のフックに確実にかかっていることを確認する。
- 5) 作業は2人以上で行い、1人は荷物を注視し、その合図をうけてチェーンブロックを操作するとよい。

4. クレーン等操作

動力を用いて荷物を持ち上げる電動式チェーンブロック、天井クレーンなどは吊り上げ能力が0.5トン以上であれば(跨線テルハの場合は吊り上げ能力が5トン以上であれば)、その能力に応じて、法令に基づく特別教育、技能講習、あるいは、免許が必要である。このような設備が設置されている研究室等では資格をもつ教職員の中から作業主任者が指定されているので、作業に当たっては作業主任者の指示に従い業務を行わなければならない。

4-1. 法的規制のあるクレーン等

クレーンなどに関する法令規制は、労働安全衛生法や厚生労働省令(労働安全衛生規則、クレーン等安全規則)などに定められている。規制の対象となるクレーンは、動力を用いて荷を吊り上げるもの(吊り上げ荷重が0.5トン以上のもの)で、荷を吊り上げて水平に運搬する機械装置と定義されている。ここで、水平方向への移動については動力を使わず、人力で移動する場合も含まれるので、対象機器を判断する場合には注意が必要である。

4-2. クレーン等の設置届

吊り上げ荷重が0.5トン以上のクレーンを設置する場合は、あらかじめ所轄の労働基準監督署に設置届を提出する必要がある。そして、3トン以上の場合には、監督署による落成検査を受検して合格し、クレーン検査証の交付を受ける必要がある。このため、クレーンの設置を計画している場合は、あらかじめ各部局(学部、研究科、研究所、センターなど)の事務担当者に相談し、法的手続きについても準備する必要がある。

4-3. 作業者に必要な資格

まず初めに「2. 玉掛け作業」で説明したように、クレーン等の操作するための資格と、玉掛け作業を行うための資格は別となっている点に注意が必要である。同一人物が両方の資格を持つ必要はなく、それぞれの有資格者が共同して作業することで構わない(当然であるが、一連の作業を全て一人で行う場合は、両方の資格が必要である)。

資格	つり上げ荷重			
	0.5～5.0ton	5.0ton以上		
		床上操作式	床上運転式	無線式含む
クレーン運転士免許	○	○	○	○
レーン運転士免許（床上運転式）	○	○	○	
技能講習修了者（床上操作式）	○	○		
特別教育修了者	○			

※移動式、デリック等は除く。

4-4. 作業現場における安全管理

クレーン等を用いた作業現場における安全確保のために以下のような対策を取らなければならない。

- 1) 荷の直下及び荷の振れ、回転する恐れが有る場合の直下は立入禁止とする。
- 2) 運搬経路には第三者が入らないよう立ち入り禁止の措置を取る。
- 3) 作業者に携わる者は、危険の度合いに応じて、作業衣、ヘルメット、手袋、安全靴などの保護具を着用する。高所作業を伴う場合は安全帯（命綱付きベルト）も着用すること。

4-5. 定期自主検査等・性能検査

クレーン等安全規則では、定期自主検査等の実施義務が定められているので、適切に実施しなければならない。

- 年次・定期自主検査（クレーン等安全規則第34条）
- 月次・定期自主検査（同第35条）
- 作業開始前の点検（同第36条）
- 暴風後点検（屋外設置の場合）、地震後点検（同第37条）

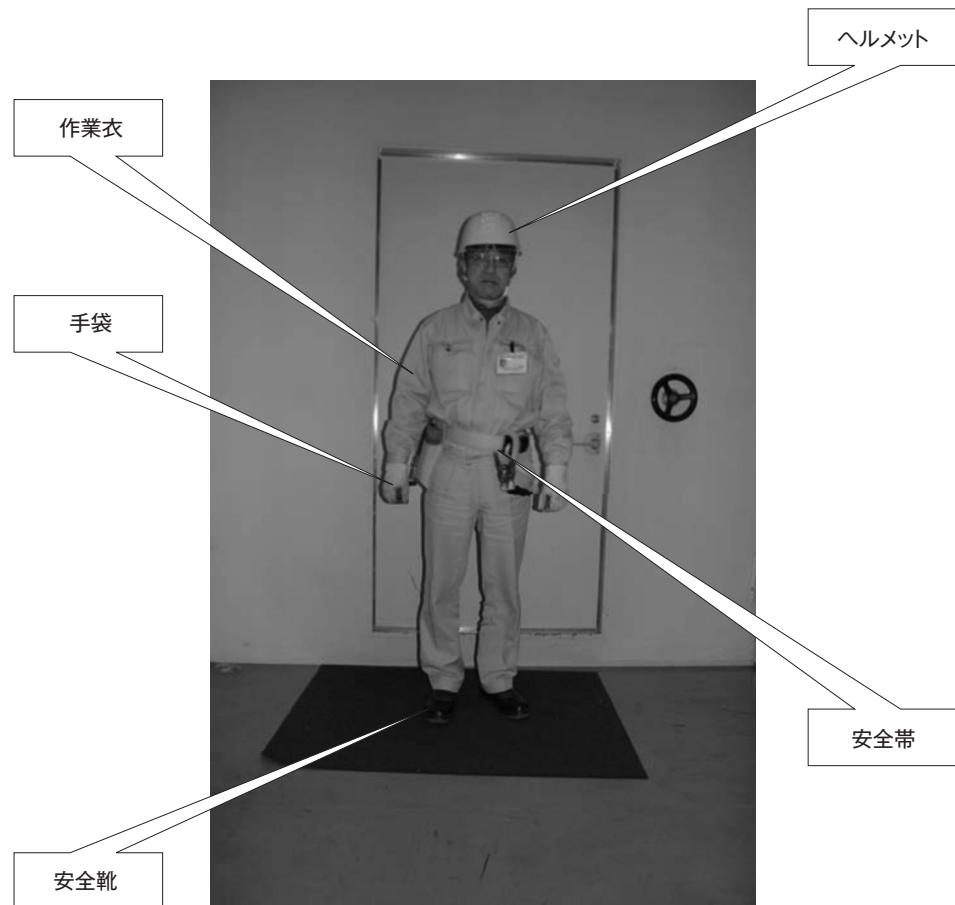
なお、クレーン等安全規則では、定期自主検査等の結果について記録を3年間保存するよう定められているので、適切に記録し、保存する（ただし、作業開始前の点検については記録保存不要）。



定期自主検査実施の様子

3トン以上のクレーンは、クレーン検査証の有効期限（2年）が満了する前に、登録性能検査機関（クレーン協会等）による性能検査を受検して合格し、これを更新する必要がある。なお、この検査の際、検査官から定期自主検査等の記録について提示を求められることがあるので準備しておくこと。

さらに、労働安全衛生規則では、クレーンに関して“逸走、倒壊、落下又はジブの折損”や“ワイヤロープ又はつりチェーンの切断”などの事故が発生した場合は、遅滞なく所轄の労働基準監督署に報告することが定められている。このため、このような事故が発生した場合は、ただちに各部局の事務等へ連絡しなければならない。



※点検等で高所作業を行う場合は、必ず「安全帯」を着用

XI. 溶接作業の安全のために

XI. 溶接作業の安全のために

1. はじめに

この章では、溶接作業の中でも被覆アーク溶接作業と、アセチレン等を用いたガス切断作業における安全について説明する。

2. 被覆アーク溶接作業における注意事項

2-1. 溶接前の準備

A. 装置の点検

溶接機1次側の電源スイッチが切られていることを確認した後、以下の事項を点検する。

- 1) 装置の構成、各部名称、結線方法を図11-1に示す。
- 2) 溶接棒ホルダの絶縁物の破損、ネジのゆるみ、溶接ケーブルの損傷の有無を確認。不良品は補修するか、新品に替えておく(ホルダ、ケーブルともに日本工業規格(JIS)に適合したものであること。ケーブル径は表11-1参照)。
- 3) 1次側、2次側ケーブルの接続、アース線の接地方法などに誤りがないかを確認。水道管、ガス管、建物の金属部分などにアースされたものは不可。
- 4) 溶接機端子と溶接ケーブル、溶接ケーブルと溶接棒ホルダや帰線接続金物などの各接続部の締付けが十分かを確認。充電露出部は絶縁テープで確実に被覆しておく。
- 5) 2次ケーブルの延長に際してはホルダ用、帰線用ともに基準に合致した溶接ケーブルを用いる。帰線用の代用にスクラップ材を継ぎ足したものは使用しない。

B. 服装および保護具

感電、アーク焼け、やけどなどの危険を避けるため、服装などには以下の注意を要する。

- 1) できるだけ乾いた衣服を着用、汗などによるぬれにも注意。防暑対策には十分配慮を払うこと。
- 2) 木綿など燃え難い素材を用いた長袖シャツ、長ズボンを着用。首には綿製のタオルを巻き帽子もかぶる。半袖シャツ、半ズボン、胸の開いた服は不可。
- 3) 絶縁の完全な靴(ゴム底など)を必ず着用。スリッパなどでは作業しない。
- 4) 作業に当たっては皮製の乾いた溶接用手袋を必ず着用。破れたり、ぬれたりしているものは補修、乾燥させるか、新品に替えておく。
- 5) 皮製の足カバーも着用し、皮製前掛けも使用することが望ましい。
- 6) 表11-2を参考に、使用電流に対応したしゃ光度のプレートを入れたしゃ光面を用意。しゃ光ガラスの両面には汚れを落した透明ガラスを入れておく。

表11-1 使用電流とケーブル断面積

2次電流	※) 推奨ケーブルの断面積
150A 以下	22mm ²
250A 以下	38mm ²
400A 以下	60mm ²
600A 以下	100mm ²

※) 定格使用率50%の場合

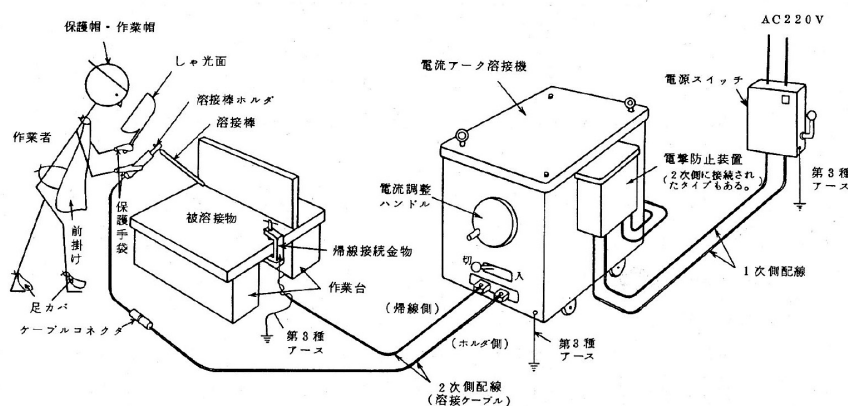


図11-1 各部名称と機器間の配線

C. その他

- 1) 交流アーク溶接機の2次側端子には60～95Vの無負荷電圧(実効値)がかかるので、できるだけ感電(電撃)防止装置付きの溶接機械を使用する。狭い場所や高所作業では取り付けが義務付けられている。
- 2) 溶接機は据え付け場所から移動させてはいけない。
- 3) 溶接作業場の周囲には可燃性、引火性爆発性のある危険物は置かない。
- 4) 緊急時に1次側電源スイッチを直ちに切れるようにしておく。
- 5) 溶接部から発生する高濃度なヒューム、ガスの害を避けるため、溶接作業場には全体排気装置以外に溶接部の局所排気装置も併置することが望ましい。
- 6) 保護具を付けていない他作業者に対するアーク光の害を避けるため、作業場の周囲はしゃ光幕、しゃ光衝立で仕切る。
- 7) 湿った溶接棒は溶接前に乾燥器で乾燥させておくのが望ましい。
- 8) 溶接前にアークスタートや運棒について練習しておく。

表 11-2 シャ光保護具の規格(JIS T 8141-1980)※)

シャ光度 番号	アーク溶接・切断作業(アンペア)			ガス溶接・切断作業					
	被覆アーク溶接	ガスシールド アーク溶接	アークエア ガウジング	溶接及びろう付け ⁽¹⁾		酸素切断 ⁽²⁾	プラズマジェット 切断 (アンペア)		
				重金属の溶接及 びろう付け	放射フラックス ⁽³⁾ に よる溶接(軽金属)				
1.2	散乱光又は側射光を受ける作業			散乱光又は側射光を受ける作業					
1.4									
1.7									
2									
2.5									
3									
4	—	—	—	70以下	70以下(4d)				
5	30以下			—	70を超え 200まで	70を超え 200まで (5d)		900を超え 2,000まで	
6					200を超え 800まで	200を超え 800まで (6d)		2,000を超え 4,000まで	
7	35を超え 75まで			—	800を超えた 場合	800を超え た場合 (7d)		4,000を超え 6,000まで	
8					—	—		—	
9	75を超え 200まで			100以下	—	—		—	—
10									
11	100を超え 300まで			—	—	—		—	150以下
12									225を超え 350まで
13	200を超え 400まで			300を超え 500まで	—	—		—	
14									400を超えた 場合
15	—			500を超えた 場合	—	—		—	
16									—

注 (1) 1 時間当たりのアセチレン使用量 (ℓ)

(2) 1 時間当たりの酸素の使用量 (ℓ)

(3) ガス溶接及びろう付けの際にフラックスを使用する場合ナトリウム 589nm の強い光が放射される。この波長を選択的に吸収するフィルタ (d と名付ける) を組み合わせて使用する。

例: 4d とは、シャ光度番号 4 に d フィルタを重ねたもの。

備考 シャ光度番号の大きいフィルタ (おおむね 10 以上) を使用する作業においては、必要なシャ光度番号より小さい番号のものを 2 枚組み合わせて、それに相当させて使用するのが好ましい。1 枚のフィルタを 2 枚にする場合の換算は、次の式による。

$$N = (n_1 + n_2) - 1$$

ここに N: 1 枚の場合シャ光度番号

$n_1 + n_2$: 2 枚の各々のシャ光度番号

例: 10 のシャ光度番号のものを 2 枚にする場合

$$10 = (8+3) - 1, 10 = (7+4) - 1 \text{ など}$$

※: 高熱作業, その他の作業用の部分は省略。

2-2. 作業中の注意

A. 感電

感電による被害は、印加電圧や体に付着する水分量などにより大きく変化する。一般に、商用電源 (50 ~ 60Hz の交流) に感電した場合、約 50mA の電流が人体に流れるだけで相当危険な状態となると言われており、安全電圧は 25V 以下とされている (詳細については、本誌の「電気」の章を参照のこと)。溶接作業に当たっての注意事項を以下にまとめる。

- 1) 溶接棒の取り替えは、ぬれた手やぬれた手袋では絶対に行わない。
- 2) 鉄板や被溶接物などアースされたもの、あるいは帰線ケーブルと直接接続された金属上に腰をかけた時、触れたりしながらの作業は危険であるので行わない。
- 3) 不安定な場所、姿勢での作業は避ける。
- 4) 溶接作業の中断時には溶接棒をホルダからはずしておく。コネクタ式では溶接

終了後ホルダをコネクタ部ではずしておく。

B. アーク光

溶接アークからは可視光線以外に強力な紫外線、赤外線も出ており、これを直視すると電光性眼炎という眼障害を引き起こし、また、皮膚に当たるとひどいアーク焼けも生じる。

- 1) アークスタート前からしゃ光面を確実に装備して作業を行う。特にアークスタート時の曝露に注意。
- 2) 夏でも作業中は袖をまくり上げたり、胸を開いたりなどはしない。

C. ヒューム

溶接アーク部からは高濃度なヒューム(通常0.1～10 μ m以下の微粒子)が発生しており、これを多量に吸うと金属熱やじん肺の起きる危険がある。

- 1) 作業はできるだけ風上側から行う。
- 2) しゃ光面を活用して立ち昇る高濃度ヒュームをできるだけ吸わない工夫をする。
- 3) 低ヒューム形の溶接棒を用いる。
- 4) 局所排気装置を働かせる。

D. その他

- 1) 溶接部から発生するスパッタなどによるやけどを避けるため、溶接姿勢はできるだけ下向きを採用。立向きや上向き姿勢は、なるべく避ける。
- 2) 乾燥した溶接棒を用い、溶接棒外箱に記された適正溶接電流を採用する。
- 3) 溶接後のスラグ除去時にその小片が眼に入って負傷することが少なくないので、しゃ光面を利用して除去スラグの飛来を避ける。
- 4) 誤って溶接棒を被溶接物に短絡・溶着させた場合には、直ちに1次側電源を切り、その後溶接棒を取り除く。

3. ガス切断作業における注意事項

3-1. 作業前の点検・確認

- 1) 手動でガス切断作業を行う場合には、図11-2に示す構成でガスボンベと切断トーチ(切断吹管)を接続し、作業を始める前に正しく接続されているか点検を行う。接続時に誤って逆火防止装置を取り外さないこと(法令で取り付けが義務づけられている)。なお、わが国では手動用切断トーチとして、図11-2に示す低圧用吹管が通常使用されている。
- 2) ボンベを移動させて作業を行う場合には、ボンベを専用のボンベ立て等に丈夫な鎖で固定し、容器温度が40℃以下となる日陰の風通しの良いところに設置する。また、ホースはホースバンド等で確実に締め付ける。
- 3) 吹管の全バルブを閉めた状態でボンベハンドルを回してボンベを静かに開け、一次圧を確認する。この一次圧が極端に低い場合にはボンベを新品に取り替える。(新品の酸素は35℃で14.7MPaに、アセチレンは15℃で1.5MPaに充填されている。)
- 4) 次に二次圧を確認し、時間とともにこの二次圧が上昇する場合には圧力調整

器が「出流れ」状態になっているため、直ちにバルブを締め、別の圧力調整器と交換する。「出流れ」は、使用ガス中に含まれる不純物や容器交換時に混入する異物あるいは圧力調整器内部の残留物などで発生し、不良となった圧力調整器は廃棄するか修理に出す。

- 5) 圧力調整器を調整して配管部に所定の圧力をかけた状態で石鹼水を利用して接続部からのガス漏れの有無を確認する。図11-2に⇒印でこのガス漏れ確認部を示す。ガス漏れしたままで切断作業を行ってはならない。
- 6) アセチレンのバルブはアセトン等の流出を防止するため最大1.5回転程度に留めておく。また、アセチレンガスの二次圧は0.13MPaを越えないこと。

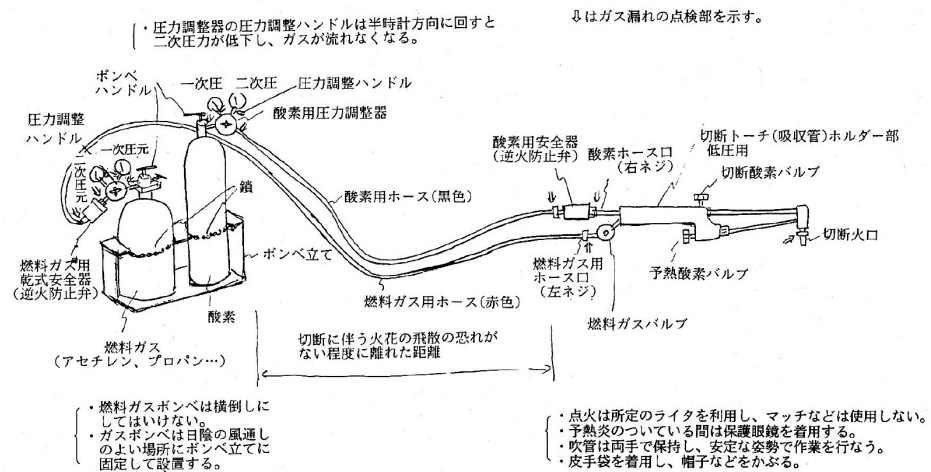


図 11-2 各部の名称とボンベ・吹管の接続及び作業上の留意点

3-2. 吹管の取扱い

- 1) 逆火事故は吹管の取扱いが悪くて発生することが非常に多い。このため、吹管の取扱いは安全作業を行うために特に重要となる。
- 2) 吹管は常に清潔に保ち、作業前には必ずネジ部や連結部に付着したペンキ、グリースなどの油脂類を完全に除去しておく。
- 3) 連結部の締め付けを確認するとともに、作業に適した火口を取付ける。
- 4) 吹管はていねいに扱い、ハンマ代わり等には絶対利用しない。また、点火したまま放置したり、吹管を床の上や通路上に直接置いたりしないこと。
- 5) 火口の掃除には銅または黄銅でつくった専用の掃除用具を利用し、酸素を流しながら静かに作業を行う。
- 6) 火口が過熱されると逆火が発生し易くなる。長時間作業を続けるときは、時折切断作業を中断し、消火した後酸素をわずかに流しながら水中に漬けて冷やすこと。
- 7) 火口の締め付けや過熱などの点検を行った後でも続けて2、3回逆火を起こす場合には、その吹管の使用を直ちに止め、新しい吹管と取り替える。

3-3. 点火と消火の手順

- 1) 点火は、酸素を供給するためのバルブを閉じた状態で行う。また、点火は所定のライターを利用して行い、マッチや裸火などを用いてはいけない。
- 2) ホースを連結した直後の点火は、ホース中の空気を放出するために燃料ガスを2～3秒放出した後に行う。
- 3) 炎の調整は、燃料ガス、酸素の順で行う。
- 4) 手動切断トーチでは予熱酸素と切断酸素が1本のホースで供給されるため、切断酸素バルブを開くと予熱酸素が減少し炭化炎となる。この状態で中性炎に戻すには予熱酸素バルブを少し開けて炎の再調整を行う。
- 5) 消火するときには、酸素の供給バルブを閉じた後、燃料ガスの供給バルブを閉じる。
- 6) 作業中に逆火を起こした場合にも直ちに酸素バルブを閉じ、続いて燃料ガスバルブを閉じること。

3-4. 作業上の留意点

- 1) 吹管は両手で保持し、火口の高さを一定にしなが、できるだけ一定の速度で滑らかに移動させる。極端な手振れが起こると切断が中断したり、溶融金属が板の表面側へ噴き出し、危険となる。
- 2) 切断開始時に上端部が赤熱してから切断酸素を噴き出させ、同時に吹管の移動を始めるとうまく切断が開始できる。切断の終了部ではまず切断酸素を止める。
- 3) ホースは切断による火花が飛ばない場所から回し、切断直後の高温となった切断面と接触するようなことが無いよう注意する。
- 4) 予熱炎部からは強力な赤外線が出ており、長期にわたってこれを見続けると失明などの危険がある。この危険を避けるために、表11-2に示す所定の保護眼鏡を必ず使用すること。
- 5) 切断中の火花等による火傷を避けるため、帽子、皮手袋、折り返しのない長袖の衣服を着用する。また、安全靴を履き、足カバーを付けるのが好ましい。また耐火処理していない化学繊維の作業服は着火の危険があるため着用しないこと。
- 6) 切断作業を行う近くには可燃物を絶対置かないこと。
- 7) 吹管の取り扱いが悪くて、大きくバンと音をたてて炎が消えるのが逆火である。この逆火は火口の過熱、不適正なガス圧設定、火口の緩みなどによって起こることが多い。逆火の生じた場合はこれらの点を点検し、正しい状態で作業を行うようにする。
- 8) 吹管内部に炎が逆流した状態をフラッシュバックと呼び、逆火と区別されている。通常、かん高いシャーまたはキューという音がするとと言われており、通常、このフラッシュバックは予熱酸素バルブを閉めると止まる。しかし、逆火の場合と違ってフラッシュバックの場合には、再点火する前に十分原因を調査しなければならない。

3-5. 切断作業終了時の注意

- 1) 作業の終了または長時間中断するときはボンベのバルブを閉じ、吹管のバルブを緩めて、各ガスを完全に抜いた後、圧力調整ハンドルを緩め、吹管のバルブを閉じておく。
- 2) 作業終了後はホース類を専用のホースハンガなどに架ける。ボンベや圧力調整器に巻き付けておくようなことはしてはいけない。
- 3) 吹管は床の上や通路に放置しない。また火災の危険がないかを確認する。

3-6. その他

- 1) ゴムホースは定期的に水に浸して点検する。また、硬化についても注意する。
- 2) ホース接続はホースバンドを用いて確実に行う。
- 3) ホース接続部のガス漏れ点検は石鹼水を用いて行う。
- 4) ホースに着火して燃え出したときは速やかにガスの元栓を閉めてから消火する。
- 5) ボンベを交換するときは接続口の異物やゴミを吹き飛ばした後、圧力調整器と接続する。
- 6) 圧力調整器の圧力計のガラス面の向きは、圧力計が破損したときの安全確保のために、少し上向きまたは少し下向きに取り付ける。
- 7) アセチレンボンベは中にアセトン等が充填されているため横倒してはいけない。
- 8) 燃料ガスにプロパンなどを使用する場合アセチレン用とは別の専用の逆火防止器の使用が好ましい。また水素ガス用は構造的にも別となる。

XII. 放射線実験の安全のために

XII. 放射線実験の安全のために

1. はじめに

放射性同位元素 (radioisotopes : RI) および放射線発生装置から発生する放射線は幅広い分野で活用されており、現在では研究・教育に必須の道具となっている。近年、伝統的な使用方法に加え、新しい放射線源や放射線検出器が開発実用化されるにつれて、放射線の利用形態も多様になってきている。また、現在では多くの放射性標識化合物が市販され、容易に入手することができ、さらに微量分析技術の発展により一実験当たりのRIの使用量も少量になったことから、効率のよい実験が可能となってきている。このような事情から、かつては特殊な技術であった放射線の利用は、身近な研究手段の一つとなりつつあり、放射線の使用者は一貫して増加傾向にある。しかしながら、放射線の利用は微量な物質を高感度で検出することができる一方、使用法を誤り過剰に被ばくすると放射線障害を生じるリスクを併せ持っている。放射線障害のリスクを被ることなく、その利益を得るには放射線に対する基礎的な知識を習得して安全取扱技術を磨いておき、どのように使用するのが最も安全かつ効果的なのかを十分考察することである。

放射線の事故、それにとまらぬ被ばくや放射線障害は1986年のチェルノブイリ原子力発電所や1999年のJCOにおける臨界事故にみられるように、身体に重大な障害を及ぼすばかりか場合によっては死につながることも珍しくは無い。また、軽微な事故や被ばくあっても、対応を間違えることによって、所属する研究室や組織等の存続が危ぶまれることすらある。しかし、そうであるからと言って放射線を必要以上に恐れ、正しい知識や使用方法を学ぶことすら放棄してしまうのは、逆に危険が増す可能性もある。正しい知識や技術を学ぶことで放射線障害は確実に防ぐことができる。無闇に恐れることなく、かといって侮ることなく正しく恐れることが必要である。

本章では、初めて放射線を取り扱う人を対象に、その基礎的な安全知識が得られるように記してある。放射線の基礎知識、放射線による被ばくの軽減、非密封線源の取扱、密封線源の取扱そして放射線発生装置の取扱についてを、コンテンツとして取り扱っている。また、これらの放射線に関わる事柄を扱う際には、教育訓練を受けることが法律によって義務付けられている。大阪大学においては、RIセンターがこの教育訓練を主催しているため、放射線に関する様々な情報が揃っている。放射線を扱う実験等で何か分からないことや困った事が生じたら、相談等で利用することをお勧めする。

2. 放射線の基礎知識

2-1. 放射線の種類と性質

放射線 (radiation) とは、原子核が壊変する際に放射される光子 (電磁波) あるいは運動エネルギーを持つ素粒子または複合粒子である。代表的なものに、 α 線 (ヘリウム原子核)、 β 線 (電子, 陽電子)、 γ 線 (電磁波) がある。さらに、宇宙線や加速器から得られる高速イオンの陽子、重イオンや μ 粒子、中性子、荷電粒子が制動を受ける際に放射される制動放射線であるX線や放射光などがある。このうち、電荷を有する α 線

およびβ線は直接電離放射線と呼ばれる、一方、電荷を有さないγ線、X線、中性子線などは間接電離放射線とよばれる。電離能、飛程、透過性などの特性は各放射線により異なる。図1には核種放射線の電荷と透過性の違いを示す。

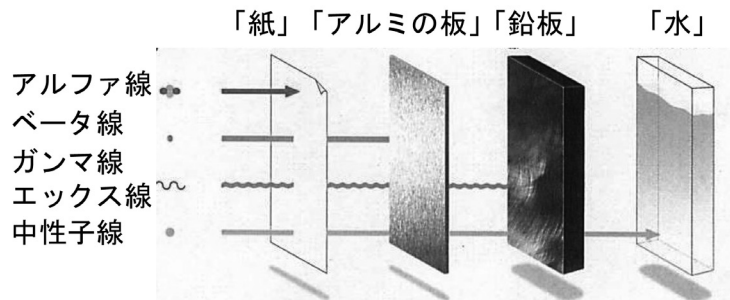


図1 放射線の種類と特徴

2-2. 放射能と放射線の単位

放射能とは原子核が放射線を放射して壊変する性質 (radioactivity) およびその性質の強さ (放射能強度: activity)。日本語では二つの意味を放射能と言う一語で表すが、英語では区別して用いている。放射能強度を表す単位としては、単位時間あたりの壊変する数、Bq (s^{-1})を用いる。放射線はRIが壊変する際に放出される荷電粒子または電磁波をいい、これらの放射線に物質または人体が「どれだけ当たったか」、「どれだけエネルギーが吸収されたか」が放射線量であり、前者には照射線量(クーロン/キログラム, C/kg)という単位を、後者には物質が被照射体であるときには吸収線量(グレイ, Gy)、人が被照射体であるときには(シーベルト, Sv)という単位を用いる。表1にこれらの単位をまとめた。

表1 放射能と放射線の単位

量/記号	単位	意味	備考
放射線のエネルギー	電子ボルト (eV)	電子が電位差 1V の真空中を通過するときに得られるエネルギーの大きさ。	$1eV = 1.6 \times 10^{-19} J$
放射能	ベクレル (Bq)	放射性核種が放射線を出す能力を言い、1秒間に1回壊変を1Bqと定義される。	旧単位 Ci $1Ci = 3.7 \times 10^{10} Bq$
吸収線量 D	グレイ (Gy)	被照射物質が単位重量あたりに吸収されたエネルギーの大きさで $1Gy = 1J/kg$ と定義される。	旧単位 rad $1rad = 0.01Gy$
等価線量 H_T	シーベルト (Sv)	放射線防護の観点から、放射線の種類やエネルギーにより人体組織に対して影響が異なることを考慮した吸収線量の大きさで $Sv = D \times \text{放射線加重係数}$ と定義される。	旧単位 rem $1rem = 0.01Sv$
実効線量	シーベルト (Sv)	人体に対する放射線の影響は組織により異なることを考慮した吸収線量の大きさで $Sv = D \times \text{等価線量} \times \text{組織加重係数}$ と定義される。	

3. 放射線防護

放射線防護とは、放射線の適正な利用に伴う環境の保全と人体に対する悪影響を防止または制限し、安全を確保することである。国際放射線防護委員会 (ICRP) は現在までに数多くの放射線防護に関する勧告をだしており、わが国ではICRPの1990年勧告を現行法令に取り入れられている。

3-1. 放射線防護の目標

放射線の影響は、受けた放射線の量に着目して、ICRPは確率的影響と確定的影響に大別している。確率的影響と確定的影響や被ばく線量についての詳しい説明は後述するが、被ばくを伴う放射線利用・原子力利用に対する放射線防護の目標は以下の通りである。

- (1) 利益をもたらすことが明らかな放射線被ばくを伴う行為を、不当に制限することなく人の安全を確保すること。
- (2) 個人の確定的影響の発生を防止すること。
- (3) 確率的影響の発生を減少させること。

3-2. 放射線防護の体系

ICRP 勧告では、放射線被ばくに伴う人間活動を「行為」と「介入」に分類している。「行為」とは個人の被ばくまたは被ばくする個人の数を増加させる人間活動である。つまり、放射線を使用する研究活動と置き換えてもよい。また、「介入」とは被ばく線量を全体的に減少させる人間活動である。ICRPは「行為」と「介入」のそれぞれについて表2に示す放射線防護体系を勧告している。

新しく実施しようとする「行為」に対する防護体系は以下の一般原則に基づいている。

- (1) 行為の正当化：放射線被ばくを伴う行為は、被ばくする個人または社会に対して行為に伴う放射線影響の損害を相殺するのに十分な便益を生むものでなければ導入してはならない。
- (2) 防護の最適化：個人の被ばく線量，被ばくする人数，被ばくの可能性を、経済的および社会的要因を考慮に入れながら「合理的に達成できる限り低く（ALARA：As Low As Reasonably Achievable）」
- (3) 個人の線量限度：全線源から受ける線量あるいはリスクの合計を制限するため、設定された個人線量の合計である。

また、放射線施設に事故が発生した場合、あるいは人々が有意な被ばくをしている場合には、それらの被ばくを減少させるために様々な防護方策を採る必要がある。これを「介入」と言う。介入措置を取るか否かの判断は以下に示す一般原則に基づいて行われる。

- (1) 介入することにより生じる利益がその活動による損害より大きくなければならない。
- (2) 介入のかたち、規模、期間は線量低減の正味の便益が最大となるように決定する。

表2 放射線防護の体系

新規あるいは継続した行為	介入
①行為の正当化 ②防護の最適化 ③個人の線量限度	①介入の導入は害よりも利益が大きいこと ②介入の種類、規模、期間は最適なものであること

3-3. 放射線被ばくに対する防護

外部被ばくに対する防護

体外にある線源からの被ばくを外部被ばくという。外部被ばくで考慮しなければならないのは、 γ (X)線、中性子線、強 β 線などを取り扱う時であり以下に示すような3原則がある。

(1) 線源との間に距離をとる

点状線源からの放射線の強さ(線量率)は距離の2乗に反比例して減弱するため、線源を扱う際にはなるべく線源から体を遠ざける。また、使用後はすみやかに離れる。

(2) 作業時間を短くする

一定線量率の作業場で作業する人の受ける被ばく線量は、時間に比例することから、線源の使用時間はできる限り短い時間になるように行う。

(3) 線源との間に遮蔽物を置く

距離や時間を制御することにより作業者の被ばく線量を低減させるのは実際の作業環境では限界があることから、遮へいによって線量を制御する必要がある。

γ (X)線は透過力が高いため遮蔽材としては高密度の鉛などが用いられる。例えば、厚さが x cmで線減弱係数 μ の遮蔽材に、線量率 I_0 の γ 線が入射した場合、透過後の γ 線の線量率 I は以下の式で表される。

$$I = I_0 \times e^{-\mu x}$$

エネルギーの低い β 線は α 線と同様に透過力が小さく、ガラス、プラスチック、アクリル板などで十分遮蔽ができるが、 ^{32}P などは高エネルギーの β 線(1.71MeV)を放出するため、 β 線自身および制動X線にたいする遮蔽を考慮する必要がある。

内部被ばくに対する防護

体内に取り込まれた放射線源からの被ばくを内部被ばくと言う。内部被ばくによる生体影響は外部被ばくと基本的には同一であるが、以下のような特徴があり対策が必要となる。

(1) 核種の組織集積性と決定器官

体内に取り込まれる放射性物質は、主として経気道、経口、経皮であり、その後、体内組織に均一に分布する場合と特定組織に集積する場合がある。この際に、身体的障害の主な原因となる臓器、組織を決定器官と言う。

(2) RIの排泄と有効半減期

体内に取り込まれた放射性物質は、壊変、代謝、排泄により減少する。この放射性物質が半分になるまでに要する時間は有効半減期(もしくは実効半減期、 T_e)と呼ばれ、物理的半減期(T_p)と生物学的半減期(T_b)により以下のように求められる。

$$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_p} + \frac{1}{T_b} \quad \text{または} \quad T_e = \frac{T_p \times T_b}{T_p + T_b}$$

なお、生物学的半減期は同一核種であってもその物理・化学的性状によって異なることがある。

また、表3に体内に取り込まれた核種の決定組織および半減期について掲げる。

(3) 体内に取り込まれた非密封線源の除去

体内に摂取されたRIはできるだけ早く取り除く必要があるが、その経路や核種により、また同一核種でもその化学形などにより除去法が著しくことなることから、その状況に応じた措置を取る必要がある。

- ① RIを飲みこんだ場合には、直ちに口を水ですすぎ洗浄する。
- ② ガス状RIを吸入した場合には、できるだけ早期に新鮮な空気を吸入し換気する。
- ③ 胃に到達したと思われる場合には、速やかに胃の洗浄を行い、消化管からの吸収を抑制する。
- ④ 体内に取り込まれたRIの除去法としては、通常、同種または同族非放射性元素／化学物の大量投与が原則であるが、大きな効果は期待できない。

また、 ^{90}Sr 、 ^{226}Ra 、 ^{239}Pu などは向骨性元素と呼ばれ、骨に蓄積し長い年月にわたり留まる。これらの金属性核種にはEDTA（エチレンジアミン四酢酸）などのキレート剤の投与が行われる。これらのことからわかるように、放射性物質を体内に入れてしまうとそれを人為的に取り出すのは非常に難しいため、いかに取り込まないようにするかが非常に重要となってくる。

表3 放射性核種の決定組織と半減期

核種	決定組織	物理的半減期	生物学的半減期	有効半減期
^3H	全身	12年	12日	12日
^{14}C	全身	5700年	40日	40日
^{32}P	骨	14日	1155日	14日
^{59}Fe	脾臓	45日	600日	42日
^{90}Sr	骨	29年	50年	18年
^{131}I	甲状腺	8日	138日	8日
^{137}Cs	筋肉	30年	70日	70日
^{226}Ra	骨	1600年	45年	44年

3-4. 放射線の生体影響

放射線が生体内の標的分子に直接当たり、これを電離または励起することにより、何らかの作用を及ぼす場合を直接作用と言う。一方、放射線が水分子の解離または励起の結果、生成されたフリーラジカルを介して生体内標的分子に作用する場合、この作用を間接作用と呼ぶ。実際に、放射線が標的分子をアタックした際に、どのような作用が起こり、どのような影響が起きるかは詳細に研究されている。しかし、ここではその詳細に関しては専門書に譲ることとしたい。この節では、どの程度の線量を被ばくしたらどのような影響が現れるのかについて記すこととする。

確定的影響と確率的影響

放射線障害が発生する可能性は、被ばくした線量に関係する。放射線の影響が表れる最小線量をしきい値と言う。ICRPは表4のように、しきい値の有無によって放射線の影響を確定的影響と確率的影響の二つに区分した。

表4 放射線影響の分類

(a) 確定的影響=しきい値のある影響 線量による変化：発生率および重篤度 皮膚の紅斑、白内障、白血球減少、不妊、脱毛など
(b) 確率的影響=しきい値のない影響 線量による変化：発生率 白血病、悪性腫瘍などの発癌、遺伝的影響

確定的影響

確定的影響は、しきい値を超えて被ばくした場合でないと症状は現れず、受けた線量に応じて症状の発生率及び重篤度が増加する。組織への影響は組織の機能で評価されるため、障害を受けた細胞の割合が大きくなって残存している細胞によって代償出来ず、組織の機能低下をきたし始めたレベルがしきい値となる。

全身あるいは体の広い範囲に、短時間に大量の透過性の放射線を浴びた場合に発症する一連の症候群を急性放射線症候群と言う。典型的な症状等は表5に示すとおりで、受けた線量によって主症状や障害が異なり、低い線量では食欲不振、悪心、発熱などの前駆症状だけで回復するが、より高線量では造血器障害が出現し、更に消化官障害が主症状として加わる。極めて高い線量では、潜伏期間も短く数時間以内に中枢神経系の症状が現れる。

表5 全身被ばくによる急性放射線症候群

被ばく後の時間	中枢神経死 (>20Gy)	腸死 (6～20Gy)	骨髄障害 (2～6Gy)	軽症状 (0.1～2Gy)
第1週	直後 嘔吐、頭痛、紅斑、痙攣、運動失調、麻痺、虚脱、全身衰弱 数日以内 死亡(100%)	2～3時間後 嘔気、嘔吐、全身倦怠 数日後 紅斑、発熱、下痢、下血	5時間～2日後 嘔気、嘔吐、食欲減退 数日後 無症状	無症状 (～1Gy) リンパ球減少 (0.5Gy～)
第2週		1～2週間以内 死亡(100%)	発熱(感染)、紫斑、出血、食欲不振	無症状
第3週			嘔気、嘔吐、下痢、脱毛	脱毛 (被ばく量に応じて)
第4週			一ヶ月以内に死亡 7Gy 100% 4Gy 50% 2Gy 5% 血液像の回復 4～6週以内	食欲不振、全身倦怠

水晶体に対する影響

目の組織の中でも最も放射線感受性が高いのは水晶体上皮である。確定的影響の中でも放射線白内障だけは、すぐに影響が出る訳ではなく。数か月から数年の潜伏期間をもって現れる(晩発影響)。被ばく線量としては、0.5～2Gy程度から水晶体の混濁が起り、短期被ばくでは5Gy、長期被ばくでは8Gy程度で放射線白内障が現れるとされている。

皮膚に対する影響

皮膚の感受性は中程度であるが、外部被ばくを受ける時には皮膚は必ず被ばくの対象となり、被ばく線量が多くなる。X線解析装置を制作中に誤って100～200Gyもの被ばくをした作業員の例もある。表6に皮膚への急性放射線ひばくについて示した。被ばく線量が比較的低い場合は、症状は一過性で回復するが線量が高くなると早期症状の数か月以降に色素沈着異常などの慢性症状が出現し、さらに不可逆性皮膚炎が続き、将来的に皮膚癌が発生する可能性もある。

表6 皮膚への急性放射線障害

症 状	しきい線量	発症時期
初期紅斑	2Gy	数時間
脱毛, 充血, 腫脹	3～19Gy	2～週
水疱, びらん, 毛細血管拡張, 萎縮	20～25Gy	1～2週 6～12カ月
潰瘍, 壊死	>30Gy	数日～1週

確率的影響

確率的影響にはしきい値が存在せず、線量の増加とともに影響の発生確率が増加するが、重篤度は線量と関係なく同じであるとされており、発癌と遺伝的影響がこれに分類される。このような考え方に立つと、放射線による発癌や遺伝的影響は、どんなに低い線量の被ばくでも発生する可能性があることになるが、広島、長崎の原爆被害者を対象にした大規模な疫学調査から、遺伝的影響は有意な増加が認められず、発癌リスクに関しても100mSv以下の被ばくでは有意な増加は確認されていない。

4. 放射性同位元素および放射線発生装置の取扱い

4-1. 非密封線源における安全取扱の原則

放射性物質又は、これを含む化合物のうち、密封されていない物を非密封線源という。取り扱いの際に特に注意しなければならないのは、外部被ばくの他に非密封線源は密封線源と違い至近距離で操作することが多いことから起こる、体内取り込みによる内部被ばくである。また、外部被ばくは物理的条件を満たせばある程度防ぐことができ、かつその被ばく量を推定できるが、内部被ばくは予期せぬ体内摂取で起き、それを防止するには、化合物の揮発性、分解性などの物理的・化学的特徴を把握しなければならない。

管理区域の入退方法

(1) 管理区域出入りの基本

非密封線源を使用する管理区域内では専用の防護スリッパと防護衣を使用する。管理区域外のスリッパや実験衣とは厳密に区別し、共用しない。退出時には必ず汚染検査を行い、汚染の無いことを確認する。万が一汚染が見つかった場合には除染を行う。最近では入退室をIDカードで管理している場合が多く、IDカードとPCで管理区域境界の扉、HFCモニタを自動制御し、個人名、入退室記録、HFCモニタ計数値等が記録され、それらが記録されていない場合には扉が開かないシステムとなっている。さらに、ビデオカメラで24時間記録することも近年では行われている。

(2) 入退域具体例

図2及び図3に一般的な管理区域への入退域順序を表した図を示す。管理区域への入退域はそれぞれの施設によって多少の違いがあるため、実際に入退する際はその場その場で臨機応変に対応する。しかし、管理区域の内と外を完全に区別し、内と外の間での物質の移動を制御するという考えはどの施設でも絶対である。

入域の場合は管理区域前で、①一般の実験衣や靴等をロッカーに入れる、②靴、スリッパ等の下足を脱いでスノコ等の上る、③自分の個人線量計を装着する、④⑤IDカードをリーダーに読み込ませ、登録者であれば自動扉が開くので入域する、⑥⑦管理区域に入り防護スリッパ、防護衣を着用する。防護衣のボタンは汚染防止の観点から必ずかける、⑧実験室へ向かう。

退域の場合は、実験室から汚染検査室に入り、①流しで手をよく洗う、②HFCモニタで汚染検査を行う。汚染されていた場合は除染する、③④防護衣、防護スリッパを脱ぐ、⑤IDカードをリーダーに読ませ扉を開け退域する、この時、物品を持ち出す場合は物品の汚染検査もしなければならない、⑥個人線量計を返却する、⑦⑧靴や白衣を着用し退出する。前述したが、管理区域における入退域の重要なところは管理区域内から放射性同位元素を外に出さない事である。そのためには何が大事なのかをよく考えて習慣づけてほしい。

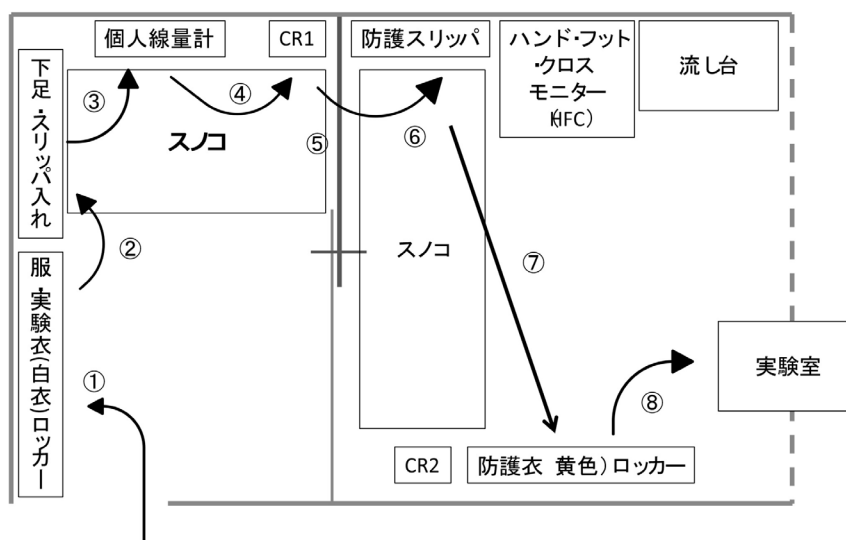


図2 管理区域入る順序 (CR: カードリーダー)

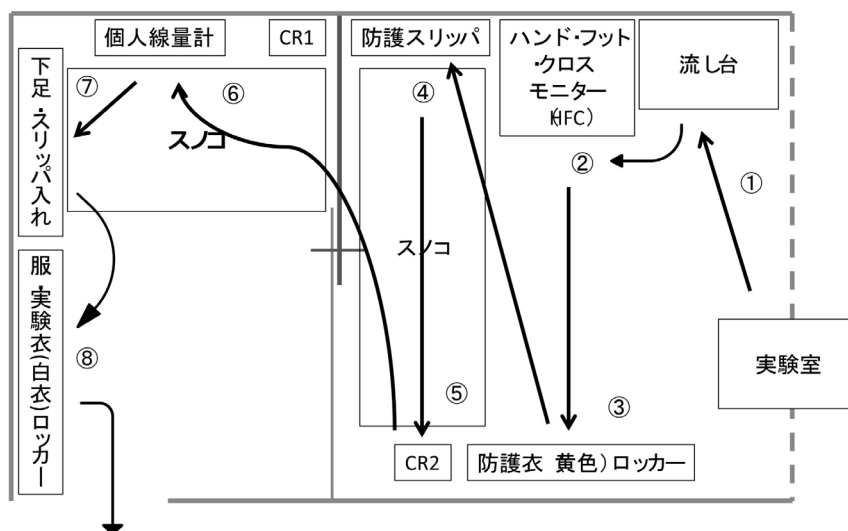


図3 管理区域から出る順序(CR：カードリーダー)

非密封線源使用の流れおよび実験計画

非密封線源は、図4に示すような流れに沿って使用され、一連の作業の記録を取り管理室に報告する必要がある。実験計画を立てる際には、非密封線源使用の必然性、標識化合物の種類、核種の半減期、被ばく線量等をよく検討して、放射線取扱主任者等とよく相談をし、適切な核種を選択する。実験計画立案時には非密封線源の選択に加えて、作業に必要な実験機器、防護用品、遮蔽用具、サーベイメータ等を用意しておく。

コールドラン

非密封線源を使用する実験(ホットラン)を行う際に、いきなり非密封線源を使用して行うのではなく、あらかじめ安定同位体を用いた確認実験(コールドラン)を行う。コールドランの効果として以下の点があげられる。(1) 無用な放射性同位元素を使用せずに済む。(2) 放射性同位元素の取扱方法の改善がなされ、作業方法・手順を確認できる。(3) 必要な実験装置及び器具類の数量や取り扱い方の確認ができる。(4) 作業効率がよくなる。

コールドランは、非密封実験を行う前には必ず行うようにしたい。万が一、コールドランを行うことが難しい場合は、紙面上でのシミュレーションを綿密に行う。

非密封線源の安全取扱いの具体例

- ・手や顔などに傷がある時は取り扱いを行わない。また、体調がすぐれない時は不測の事態が起きる可能性があることから、できるだけ取り扱いを避けるべきである。

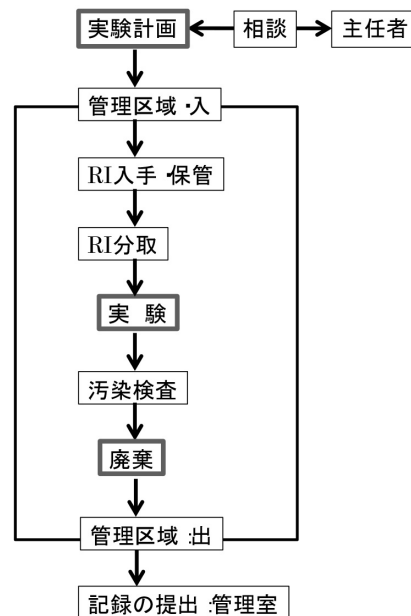


図4 放射性同位元素使用の流れ

- ・個人線量計は必ず着用する。
- ・原則として、一人で実験を行わない。必ず複数人で行う。その際、非密封線源を扱う者、扱わずに実験補助を担当する者をあらかじめ決めておき、混乱が無いようにする。
- ・非密封線源を取り扱う際は保護メガネ、マスク、ゴム手袋を着用する。これらが汚染した際には、直ちに除染するか新しい物と交換する。
- ・サーベイメータを常時ONの状態にしておく。
- ・非密封線源の取り扱いとは原則としてフード(ドラフトチャンバー、グローブボックス等)内で行う。この際、フードの外に非密封線源が漏れ出さないように陰圧になっているかを確認する。フード内は、万が一汚染した際に除染がしやすいようにポリエチレンろ紙でカバーをしておくことよい。また、フードの前の床にも汚染拡大防止のためにポリエチレンろ紙を敷いておく。
- ・非密封線源を取り扱う作業者は、ゴム手袋を着用したまま電源機器やガス等のスイッチを触らない。これらは、補助者に依頼する。
- ・実験で使用する核種が γ 線放出核種の場合は鉛等の遮蔽体を、 ^{32}P などの強い β 線放出核種にはアクリルなどプラスチック製のつい立を配置する。これらの鉛やつい立にも万が一に備えて除染しやすいような方策を整えておくことよい。
- ・冷凍保管されていた非密封線源は湿気が容器に入るのを防ぐため室温に戻してから開封する。
- ・容器のふたは、開封時に飛び出ることがあるためビニル袋で覆うなどの対策をする。
- ・使用している核種が何であるか容易にわかるように表示をする。
- ・作業従事者は実験中にその場を離れないようにする。ただし、無用な被ばくは避けなければならないため臨機応変に対応する。
- ・フード内に持ち込んだ器具類を出すときには、必ずサーベイメータで汚染の有無をチェックする。
- ・実験中に発生した廃棄物は可燃、不燃、難燃と分別して廃棄する。
- ・実験が終了したら、フード内、フード周辺及び床等の汚染検査を行う。万が一汚染が見つかった際には、マークをつけて汚染個所が判るようにする。また、床が汚染している場合は、拡大を防ぐために立ち入れ禁止の縄張りをして区画する。
- ・汚染個所は速やかに除染し、表面密度以下であることを確認する。
- ・使用終了後は、使用者氏名・使用時間・日時・場所・方法を記録しておく。

一般に、非金属元素に属する放射性同位元素は飛散率が高く、金属元素に属する放射性同位元素は飛散率が低い。また、有機化合物は、無機化合物に比べて高いといえる。主な、飛散率の高い元素は、 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{35}S 、 ^{131}I 等が知られている。

非密封線源を取り扱う実験室は、通常複数人が入れ替わり立ち替わりで使用することが想定される。その際には、同じ実験室を使用する人達へ、何時から何時まで、どんな核種をどれだけの量、どのように使用するかを前もって伝えておくのがよい。そうすることにより注意喚起が為され、予期せぬ事態が起こる可能性を低減させることにもつな

がる。また、急な実験等で、コミュニケーションが取れなかった場合には実験室の扉の外に「非密封線源使用中」などの看板を掛けておくのが良い。

4-2. 密封線源における安全取扱の原則

放射性同位元素をステンレス鋼やアクリルなどの密封容器に封入し、外部に飛散しないようにしたものを密封線源と言う。また、放射性同位元素を金属板などに挟んで圧延した物や線源窓に薄いアルミニウム箔を用いた物なども密封線源に含まれる。密封線源は放射線・放射能測定器の校正や動作確認、厚さ計などの計測装置、放射線照射装置、さらには癌治療のための診療用線源などに利用されているが、ほとんどの α 、 β 線源の機械的強度は弱いため扱いには十分注意が必要であり、 γ 線源では透過力が高いため適切な遮へい等の措置が必要である。また、密封線源の中には後述する大線量の線源もあり、15分で致死線量に達するほどの線源も存在するため使用の際には安全のための知識が必須となる。

密封小線源の種類及び安全対策

密封小線源とは、ピンセットやトンゲ等で操作する程度で扱える比較的少量の放射能を密封した線源である。適切に遮蔽してあれば被ばくの可能性も少ないため手軽に扱うことが可能である。種類には、 α 線源、 β 線源、 γ 線源、中性子線源及び校正用線源が用いられている。

密封線源に対する被ばくは外部被ばくのみを考えればよい。外部被ばく防護の3原則である、遮へい・距離・時間を基にして防護するとよい。また、被ばく以外の安全対策として、線源自体の機密性の維持、紛失防止、盗難防止、使用保管の帳簿管理を考える必要がある。機密性の維持については使用毎の汚染検査を、紛失盗難については使用前後の記録をすることで防止ができる。さらに、鍵の付く貯蔵庫に保管し管理することを忘れてはならない。

密封小線源の安全取扱の具体例

- 個人線量計は必ず着用する。
- α 線源や β 線源の薄い被覆材は破れやすいため、先の尖ったピンセット等で傷をつけないように気を付ける。ピンセットは先端がゴムで被覆された物を用いると良い。
- 被覆材を破損した可能性がある場合は、目視、汚染検査で確認する。
- 被覆材の破損等の異常を発見した際は、汚染が拡大しないように保存をし、主任者に相談する。
- β 線源を用いる際には、プラスチック等の原子番号の低い材質で遮蔽をした後、制動X線を鉛等で遮蔽する。決して遮蔽する順番を間違えないようにすること。
- γ 線源は鉛等の金属で遮蔽する。
- γ 線照射装置使用時には部屋の入口に照射中と表示する。無用な者を立ち入らせない。
- 使用終了後は線源を貯蔵しつに収納し、紛失・脱落・汚染等の無いことをサーベイメータやモニタ線量計で確認する。

- 使用の都度、使用者氏名・使用時間・日時・場所・方法の記録を取る。

大線源照射施設

密封大線源を使用する照射施設および装置には、研究用に使用されている ^{60}Co から γ 線照射施設や、医療に使用されている遠隔操作式後充填装置(RALS)、血液照射装置が知られている。 ^{60}Co γ 線照射施設とRALSは照射室と操作室が分かれており、血液照射装置は密閉型の例である。ここでは、特に ^{60}Co γ 線照射施設について述べるが、安全取扱の基本は同じである。

図5に γ 線照射施設平面図の一例を示す。この例では、 ^{60}Co からの γ 線の線量率は水の吸収線量で表すと線源カバーに密着した状態で $200\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ である。 ^{60}Co 線源は照射室の天井に保管され、照射の際には遠隔操作によって照射室内にセットされる。照射室は厚いコンクリート壁で囲まれ、照射室外の線量は自然放射線レベルになっている。

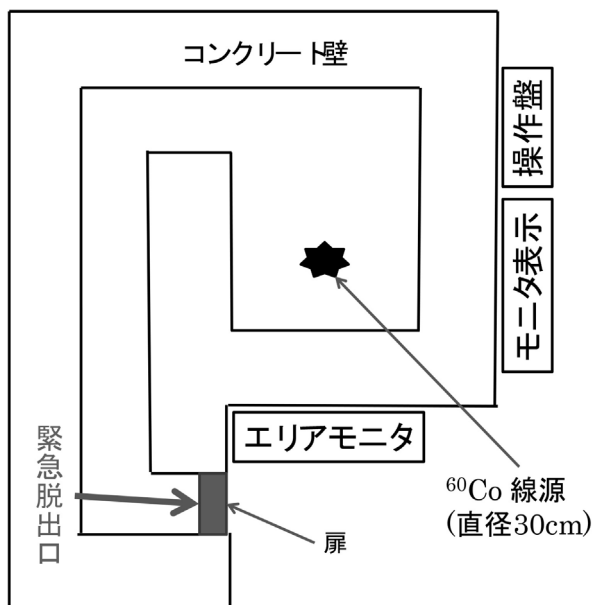


図5 γ 線(^{60}Co)照射室平面図

γ 線照射施設は、試料を線源近くから遠くまで自由に配置することができ、操作は極めて単純である。さらに空間が広く取れるため、大型の機器を中に運び入れたり特殊な条件での照射実験も行うことが可能である。

密封大線源の安全対策

施設自体には安全対策が多重に施されている。厚い遮へい壁により操作室の線量は自然放射線レベルになっている。また、出入口から線源までは3回角を曲がらなければならない、それにより散乱線による出入口付近での線量を押し下げている。また、インターロックシステムにより線源が出ている時は入室ができなくなっており、照射室内はモニタによって常に監視されており中で人が作業しているのが分かるようになっている。万が一閉じ込められた場合には緊急脱出口は中からは容易に開くように作られている。

照射施設への具体的な出入り管理

試料を照射するために人は次の手順によって、入室する。

- 入室前に照射に関する使用記録を記録ノートに記入する。記入項目は、氏名・照射開始時刻・照射する試料の情報等である。また、線源の時間(線源の線量を測定してから時間)を記録する場合もある。
- 線源が露出中の場合は、操作盤で線源を一度格納させる。線源の格納の確認を機械制御やエリアモニタ等を通じて行う。これらが全て正常の場合のみ出入口の開閉が可能となる。
- 鍵を使用してマニュアルで開錠する。入室の際には、必ずサーベイメータを持ち放射線を測定しながら進む。この時、入室には一人で行わず複数人で行うのが良い。
- 試料の設置には、脱落や破損が無いよう十分に注意する。
- 忘れ物が無いかを確認した後、退室する。この時、残っている人がいないかを十分確認する。
- 全員が退室したのを確認して、出入口に施錠を行う。
- 操作盤で格納中の線源を照射位置まで降ろす。この時、機械制御やエリアモニタ等で異常が無いかをチェックする。
- 記録ノートに照射開始時間及び照射終了予定時間を記入する。

加速器の安全取扱の原則

加速器施設内で作業を行う人は、通常、教育訓練・健康診断等の所定の手続きを済ませた後に管理区域内に入ることができる。施設管理者の指示に従えば特に大きな問題にはつながらないが、指示に従わなかったり注意を怠ると重大な事態を招く恐れがあることを十分認識しなければならない。また、施設管理者には放射線モニター・自動表示装置・インターロックの設置および施設検査を定期的に受けることが義務付けられている。

加速器運転中の施設の安全管理

運転中に間違えて施設内に入ると致命的な被ばく事故が起こる可能性があるため、インターロック等の事故防止策が義務付けられているが、これらを実験の都合上便利であるからと言って故意に外しては絶対にならない。通常はエリアモニターの線量が設定基準を超えると、加速器が自動的に停止するようなシステムになっているが、その線量の基準はまちまちであることがあるためよく確認しておく必要がある。

サイクロトロンのような大型加速器施設では、運転停止後でも放射化に伴う表面汚染やターゲット付近からの被ばくの恐れがあるため、空間線量率に気を付ける必要がある。仮に、空間線量率が良くわからない加速器施設に立ち入る際には、必ずサーベイメータを持参し、個人線量計を常時身につける。

4-3. X線発生装置における安全取扱の原則

X線発生装置は身近な医療現場や飛行場での手荷物検査、または研究室等で広く使用されており、放射線源や加速器に比べ圧倒的に目にする機会が多い。X線発生装置は多くの場合X線の発生と停止が簡便に操作でき、利用もしやすい。

X線発生装置は原則として管理区域に設置するが、教育・研究の場ではインターロックを有するX線照射ボックス付の装置が多く利用されており、それらは装置の中のみ管

理区域とするという特例が設けられている。そのため、このような装置を設置してある部屋は管理区域である必要は無い。被ばく防止に関しては前述した防護の3原則が基本である。しかし、インターロック付きのX線発生装置では、装置の中に身体の一部を入れなければ被ばくの可能性がごく低いと考えられることから放射線を使用しているという意識が低下しやすく、結果、被ばく事故につながりやすいため注意が必要である。

X線発生装置の安全取扱の具体例

X線発生装置は様々な種類があるためそれらの安全取扱は千差万別である。実際の安全取扱は納入業者やその装置をよく知っているX線作業主任者等から十分聞いておくべきである。ここでは、一般的なX線発生装置についての安全取扱の具体例を記す。

保守管理について

- 研究用X線発生装置(1MeV以下出力)は放射線障害防止法ではなく、安衛法及び電離則が適用される。
- 管理区域を設定し、X線作業主任者を選任する。
- 選任されたX線作業主任者について、部局や安全衛生管理部に届出をする。
- 装置を使用する作業従事者は、使用登録を行い部局や安全衛生管理部に届出をする。
- 管理区域が装置内にあるX線発生装置については、X線作業主任者を選任しなくてもよいが、管理責任者は選任しなければならず、届出も行う。
- 装置の定格出力、型番、製造年月日、管理責任者、緊急連絡先および事故が発生した際の応急措置等を装置の見やすいところに掲示しておく。

実際の取扱について

実際にX線発生装置を取り扱うに際しての注意事項を図6に示した。特に重要なポイントは、

- ①装置や使用についての情報の引き継ぎ・共有
- ②X線発生の確認
- ③セーフティリリースキーの管理

上記であり、正しく押さえておきたい。また、X線発生装置や周辺に関してチェックしておくポイントを示した。

1. 管理区域の標示は必ず掲示する。また個人線量計は必ず着用する。
2. 緊急停止ボタンの位置と作動は確認しておく。
3. 警告灯のランプは切れていないか確認する。
4. サーベイメータは常に近くにおいておき、常時電源を入れておく。
5. 高電圧を使用している機器である事を頭に入れておく。
6. セーフティロックが作動するかどうか確認しておく。

さらに、実際の使用に関する注意事項について以下に示した。

- 管理区域内もしくはX線発生装置周辺にみだりに人が近づかないように措置をする。
- 照射筒、ろ過板、絞りなどが正しく取り付けられているかを作業毎に確認する。

- 利用線錐の経路内に身体部分を入れない。
- 試料交換作業時は必ず電源を切ってから行う。もし、電源が切れない場合は必ず X 線を落とす。あるいはシャッターが閉じていることを確認する。
- 警報装置点灯時には、管理区域内に侵入しない。
- 初回使用時には漏えい検査を行い、それ以降はい年以内に定期検査を行い3年間記録を保存しておく。漏えい線量の測定は、6か月以内におこなう。
- ターゲット取り換え可能な装置は、取り換え時に漏えい X 線の有無を確認する。・使用や設定の変更を行ったら必ず記録しておく。

ここまで示してきた安全取扱以外にも、一般的機器と同様の安全取扱の注意がある。例えば、X線発生装置と言っても、熱電子が対陰極に衝突して発生するX線は非常にわずかであり、大部分は熱として変換されるため、対陰極は常に冷却する必要がある。そのため、冷却水を用いて冷やすための器材が組み込まれていることが多いが、この機材の冷却水漏れについてはあまり意識していないユーザーが多いのが実情である。また、安全扉の開閉で指を挟んだり、X線発生装置の固定を忘れて地震等の揺れで事故が起こるケースにも気を付けたい。

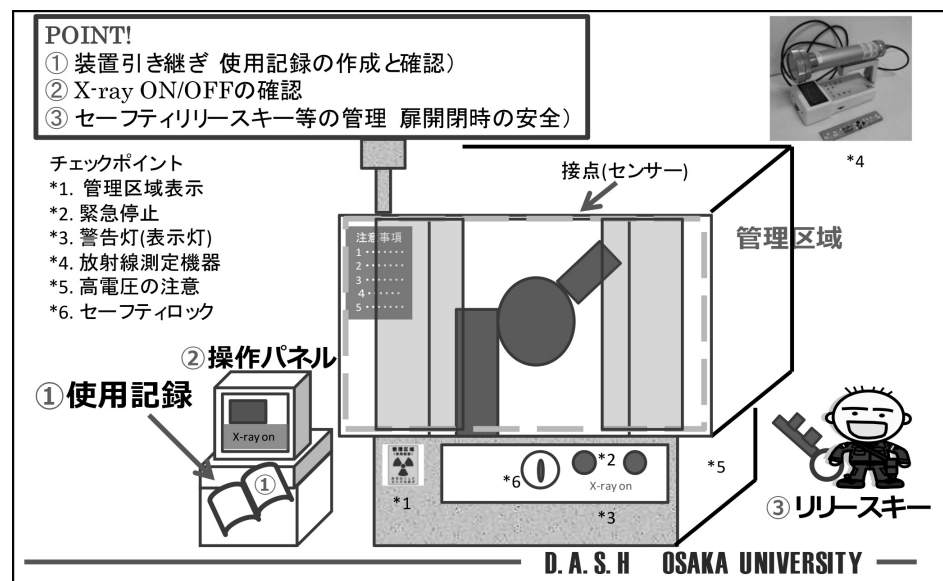


図6 X線発生装置の安全取扱チェックポイント

5. 緊急時の対応

緊急時とは、直ちに対応を要する異常な状態や事故が起こっている時である。しかし「直ちに」や、「異常な状態」や「事故」という文言は、個々人によって感覚の違いからズレが起きることがしばしばあり、それゆえに被害が拡大することも珍しくない。そこで、事業所ごとに一定の基準を決めておくことが良い。例えば、障害防止法では、事故時と危険時を以下のように定めている。

事故時：線源の盗取、所在不明、その他が生じた時

危険時：地震、火災、その他の災害により放射線障害が発生した場合、または発

生する恐れがある場合。

緊急時の対処及び原則

放射性同位元素使用施設および放射線施設における異常には主に1「火災」、2「地震」、3「汚染」、4「被ばく」、5「線源の所在不明」、6「線源の盗取」、7「未登録線源の発見」がある。3から7までは放射性同位元素使用施設および放射線施設特有の問題であり、「火災」と「地震」に伴っては3から6が同時に起こり得る。4から7までは起こった際には、直ちに放射線取扱主任者、または放射線安全管理室等へ届出る。3の「汚染」が見つかった場合、自分が汚染されたのか、汚染された場所をみつけたのか、どの程度の汚染なのか等、により対応は異なってくるが、何事においても放射線取扱主任者や管理室へ連絡をし助言を求めることである。

緊急時に対応する場合には、人命の安全を第一とし、機器や試料等を見捨てることになっても仕方ないと考えること。自分の身の安全を確保した上で、付近の人間に大きな声で知らせる。次に、電話や直接管理室に知らせる。余裕がある場合のみ、汚染拡大の防止、初期消火、延焼の防止を行う。この際、一人ではなく必ず複数人で行う。また、危険は過大評価しても過小評価をしてはならない。汚染しているどうかかわからない場合は汚染していると仮定して対処する。表7に緊急時の優先順位と行動を示す。

表7 緊急時における行動

優先順位 高↑ ↓ 低	安全保持	人命、身体の安全を最優先し、経済的損失は二の次とする。
	通報	付近の者に大声で知らせる。主任者や管理室へ知らせる。
	拡大防止	汚染の拡大防止に努める。初期消火に努める。
	過大評価	危険は過大評価が原則。疑わしきは黒。

責任体制

業務従事者であっても事業所全体の責任体制を知っておく必要がある。一般には緊急時の指揮命令系統役割分担は従事者・取扱主任者・施設責任者に応じて決められている。

緊急連絡網の整備

緊急連絡網は、管理区域の出入り口や電話付近の要所に掲示してあるので必ず目を通しておき、すぐに連絡が取れるようにしておく。それ以外にも救急用具、担架、マスク、メガホン、消火器等の位置の確認を怠らない。また、緊急時に使う連絡網や用具は、用意しただけでは何の役にも立たないため、年に数回施設で行われる防災訓練に参加し実際の使い方を習得すべきである。

放射線取扱主任者の対応

放射線取扱主任者は施設等に事故があった場合は、現場の処理から報告を行うまでを10日以内に行くと法令に定められており、まさに戦時のような忙しさとなる。業務従事者は事故を起こすと放射線取扱主任者に多大な負担をかけることを覚えておくと共に、安全に研究や仕事を行って頂きたい。

XIII. 核燃料物質等を安全に取り扱うために

XIII. 核燃料物質等を安全に取扱うために

1. はじめに

大阪大学には、核燃料物質等が取り扱える施設がいくつか存在する「核燃料」という言葉を聞くと、身構えてしまうことがあるが、どういう物質なのか、どのように扱えばいいのかの正しい知識を持ち、安全に取り扱えば、むやみに恐れる事はない。基本的な取り扱い、放射性物質の安全取扱いの考え方と同様である。しかし、核燃料物質等の扱いは基本的に放射性物質と同様であるが、規制を受ける法律については、核燃料物質等は原子力基本法や核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律、放射性同位元素は放射線障害防止法で規制されることになる。その違いをよく理解して核燃料物質等の取得や保管、取扱、廃棄を正しく行う必要がある。

2. 定義

核燃料物質等と一言で表してもその中には、法で定められたいくつかのカテゴリーがあり、それぞれ、核燃料物質・核原料物質・国際規制物質と呼ばれている。これらは扱っている元素としてはほぼ同一であるが、使用している数量によって厳密に分かれている。

2-1. 核燃料物質とは？

核燃料物質とは、原子力基本法第3条第2号で「ウラン・トリウム等原子核分裂の過程において高エネルギーを放出する物質であって政令の定めるもの」と定義されている。具体的には、ウラン(U)、トリウム(Th)、プルトニウム(Pu)を含む化合物のことを指す。

核種によって定められた量以上の核燃料物質を使用する場合、原子力規制委員会の使用の承認が必要となる。図1に核燃料物質として承認を受ける必要のある元素と量を示す。プルトニウムや濃縮ウラン、U-233は数量に関係なく核燃料物質である。

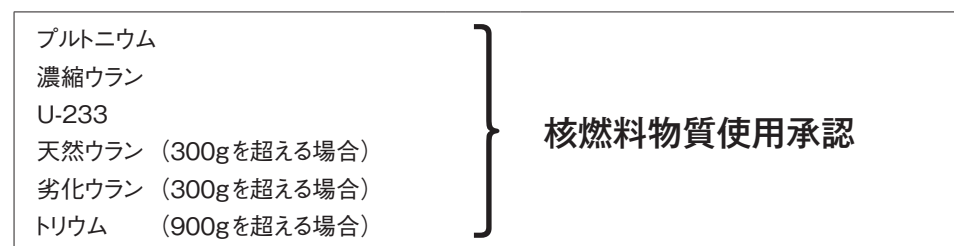


図1 核燃料物質

2-2. 核原料物質とは？

核原料物質とは原子力基本法第3条第3号で「ウラン鈾、トリウム鈾その他核燃料物質の原料となる物質であって政令の定めるもの」と定義されている。

放射能濃度が74Bq/gを超えるもの(固体状は370Bq/g)かつ、ウラン×3+トリウムの量が900gを超える量の核原料物質を使用する場合、原子力規制委員会に使用の届出が必要となる。図2に核原料物質として使用の届出を行わなければならない元素や量について、表1に主な核原料物質の具体例を示す。

※天然ウラン1gは約26kBq/gであるため、天然ウランが370Bq/g含まれている固体の核原料物質でも21kgまで届出は必要ない。そのため鉱物標本等、少量の核原料物質を研究室等で所有しているだけであれば問題ない。

核原料物質 放射能が74Bq/gを超えるものかつ (固体状は370Bq/g) ウラン×3+トリウムの量が900gを超えるもの	}	核原料物質使用の届出
核原料物質 放射能が74Bq/g以下のものか (固体状は370Bq/g) ウラン×3+トリウムの量が900g以下のもの		

図2 核原料物質

表1 主な核原料物質

モナザイト	タンタライト	バスタネサイト	ゴム石	ピッチブレンド	ゼノタイム
バクハン石	ホウトリウム鉱	チャヤームン鉱	カルノー石	リンドウウラン石	ウランホウトリウム鉱
リン鉱石	ストロベライト	セリウムコンセントレート	デビード鉱	シュレーキングエル鉱	トロゴム鉱
カツレン石	ブロッカイト	ニンギョウ石	ツァムン石	コフィン石	トール石
コロンバイト	パイロクロール	ジルコン	ブランネル石	ジルケル鉱	オーエル石
タングステン鉱	ウラノフェン	リンカイウラン石	メタチャムン石	ウラントール石	ウランセビル石

2-3. 国際規制物資とは？

国際規制物資とは、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第2条第10項で定義されている。具体的には、核燃料物質、核原料物質、原子炉その他の資材又は設備のことを指しており、核燃料物質に指定されている元素の中で天然ウランと劣化ウラン及びトリウムのうち、指定の数量以下のものである。

使用の承認を必要としない少量の核原料物質を取扱う場合でも、国際規制物資として使用の承認が必要となる。

天然ウラン (300g以下の場合) 劣化ウラン (300g以下の場合) トリウム (900g以下の場合)	}	国際規制物資使用承認

図3 国際規制物資

3. 使用できる施設

核燃料物質等は、定められた管理区域内でしか使用できない。また施設によっても、許可申請によって認められた管理区域の範囲や使用できる元素・核種が異なる。核燃

核燃料物質取扱施設(J施設)と呼ばれる施設では、核燃料物質や核原料物質など全ての物が取り扱うことができるが、国際規制物資取扱施設(K施設)では、国際規制物資のみしか取扱うことができない。大阪大学で核燃料物質等を利用できる施設は以下の16施設があり、核燃料物質取扱施設(J施設)は3施設、国際規制物資取扱施設(K施設)は13施設となっている。初めて核燃料物質を利用する際は各部署担当事務、計量管理責任者及び安全衛生管理部に使用が可能な場所か、使用する許可は持っているかどうかを必ず確認すること。

表2 大阪大学内の核燃料物質等の取扱施設(平成25年現在)

区 分	
核燃料物質取扱施設(J施設)	理学研究科附属基礎理学プロジェクト研究センター 工学研究科、核物理研究センター
国際規制物資取扱施設(K施設)	医学系研究科 基礎工学研究科 歯学研究科 薬学研究科 理学研究科 産業科学研究所 生命機能研究科 蛋白質研究所 微生物病研究所 極限量子科学研究センター 超高圧電子顕微鏡センター レーザーエネルギー学研究センター ラジオアイソトープ総合センター豊中分館

4. 核燃料物質等の取扱について

4-1. 核燃料物質等の使用の記録と保管

核燃料物質等を研究等で使用する際は、使用する化合物名と使用した量を帳簿等に記録しなければならない。この記録を核燃料物質取扱施設では毎月、国際規制物資取扱施設では半年に一回、原子力規制庁に報告することが義務付けられているため計量管理の徹底が必須である。また、この報告義務は期間内の使用の有無に関係なく生じるため注意が必要である。

核燃料物質等の実際の取り扱いに関しては、管理区域内にて保管・使用をする限り、特に規制はない。しかし、試薬には医薬用外劇物が多いことや、テロ防止の観点から、大阪大学では核燃料物質の厳重な保管を推奨しており、試薬瓶、使用中の試薬を含め、保管は必ず「床等に固定された鍵付きの保管庫」にすること。また、使用に関しては、放射性同位元素の使用取扱方法に準じて注意深く行う事が望ましい。

4-2. 核燃料物質等の廃棄

実験等で使用済みの廃棄物も通常の廃棄処理等で処分することができず、実験で使用した核燃料物質等を含んだ廃液、洗液、チップ、濾紙、ペーパータオル等の廃棄物は、核燃料物質等の廃棄物として保管しておかなければならない。この時、核燃料物質等の廃棄物は放射性同位元素の廃棄物とは別々(保管する部屋も別)にしなければならない。これまでは、核燃料物質取扱施設についてのみ、廃棄物についても計量管理が義務付けられていたが、2014年1月より国際規制物資取扱施設においても廃棄物の計量管理が義務化される見通しである。廃棄物は現状では引き取り手が無いため保管しておくしか手立ては無いが、将来的には何らかの方策がとられる予定である。

4-3. 核燃料物質の施設間の移動

核燃料物質を、ある施設から別の施設へ移動する場合や譲渡する場合には、それらの増減量に基づいて定められた時期に定められた様式による届出が義務付けられている。また、これまで国内法によってK施設間の移動は禁じられていたが、改正によって認められるようになった。そのため、これまでのようにJ施設を経由せずに核燃料物質の移動ができるようになった。

4-4. 核燃料物質等の有害性

核燃料物質等の人体への影響は、放射線によるものと重金属としての化学毒性によるものが考えられる。

● 放射線による人体への影響

核燃料物質の放射線による影響は、ウラン・トリウムとも半減期が長いので、元素1gあたりの放射能はそれぞれ12～26kBq、4～10kBq程度となり、外部被ばくに関してはあまり大きな影響はない。例えば、よく使用されるウラン化合物の酢酸ウラニル2水和物は25gの小瓶に入っている物が主であるが、この化合物中に入っているウランは14gで、放射能濃度としては360kBq程度である。また、この酢酸ウラニル2水和物から受ける被ばく量は、1mの距離で0.085mSv/y密着状態で4.1mSv/yである。一般に自然放射能による被ばく量が2.4mSv/yであることから考えて十分小さいと言える。

● 化学毒性による人体への影響

放射線による影響よりも、むしろ化学毒性による影響が問題となる。ウランは体内に取り込まれると約6割は体外へと排出されるが、残りは骨や腎臓に蓄積され障害の要因となる。また、トリウムは肺や膵臓へ移行し癌の要因となるという報告もある。表3に硝酸ウラニルを投与した際の動物の急性毒性(致死)について示した。人に関する致死データは存在しなかった。

表3 実験動物の急性毒性データ(致死)

実験動物	投与方法	致死量(mg)	ヒト換算量(mg)
ラット	腹腔	128 - 305 (LD ₅₀ / 24h)	6400 - 15000
		1.0 - 2.5 (LD ₅₀ / 14-21d)	50 - 125
	筋肉	2 (LD ₈₀ / 6d)	100
ウサギ	経口	0.33 - 10 (LD不明)	165 - 500
イヌ		0.5 - 2 (LD不明)	25 - 100

5. 核燃料物質等を購入・廃棄したい時

もし、新規で核燃料物質等を使用したいときは、利用者の登録および教育訓練を行う必要がある。使用ご検討する場合、まずは安全衛生管理部核燃料物質管理室(内線:4886)まで連絡願いたい。

6. 緊急事態の対応

核燃料物質等の保管・使用場所で地震、火事等の災害が発生した場合は発見者はまず自らの安全の確保を行う。その上で可能な範囲で以下の措置を講じる。

- 火災の場合は初期消火を行う
- 人命救助を行う
- 消防署等へ通報する
- 災害発生連絡窓口に通報する

また、盗難や管理下に無い核燃料物質等が発見された時には、まず第一報として安全衛生管理部および各部局の計量管理責任者に連絡を行う。連絡者は以下の内容を連絡する。

- 連絡者の氏名・所属・連絡先
- 発生日時
- 発生場所
- 発生した案件の種類や内容

以下に大阪大学安全衛生管理部核燃料管理室の住所と連絡先を記しておくので、何か分からないこと等があれば連絡をして頂きたい。

大阪大学安全衛生管理部核燃料物質管理室

〒565-0871

吹田市山田丘1-1

TEL：06-6879-4886 FAX：06-6879-4024

E-mail：anzen-suisindai2@office.osaka-u.ac.jp

XIV. 実験廃棄物の安全な処理のために

XIV. 実験廃棄物の安全な処理のために

1. はじめに

ゴミには捨てる方の厳密なルールがある。“ゴミだから”と軽くみることなく、きちんとした対応をする必要がある。

廃棄物、いわゆる“ゴミ”は、実験等によって発生する実験系廃棄物、医療等によって発生する医療系廃棄物、その他紙類、空き缶等の生活系廃棄物など、活動に伴って必ず排出される。

“ゴミ”に対するイメージはどのようなものだろうか？

「いらぬもの」、「早くなくなってほしいもの」、「自分のものではなくなくなってほしいもの」、という意識ではないだろうか。

しかし、特に実験系、医療系で使用され、保管されている薬品、物品は危険作業に伴い、管理が必要なものが多くある。これらの薬品、物品は使用を終え、廃棄する段階になったものでも、適正な廃棄、処理を終えるまでは“危険なまま”であることを強く認識しなければならない。

廃棄物には「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（廃棄物処理法）という法規が定められており、廃棄に関する規則、方法、罰則などが明確かつ厳格に定められている。これらを元に「安全に廃棄する」ことを目的にして様々なルールが定められている。

廃棄過程における事故は学内においても頻発しており、それらの多くは“ゴミ”を軽んじたために、危険性を軽視したことや、ルール自体を守らなかったことで起きている。「適当に捨てない」「手順がある。それに従う」。大学での実験、医療活動には、危険・有害物の取り扱いが伴う。

「“ゴミ”を軽んずべからず」廃棄物は決められたルールを厳守し、いたずらな廃棄は絶対に行わないことを徹底しなければならない。

2. 大学は一般家庭とは違う

廃棄物には大学特有の実験系廃棄物等のほかに、一般家庭から排出される廃棄物と同様に、紙くず、生ゴミ、空き缶なども発生する。ここで、注意しなければならないのは、一般の廃棄物であっても、一般家庭から排出された場合と、大学から排出された場合では、法的に異なった取り扱いを受けることになることである。大学は一つの事業者として扱われていることから、これらの一般廃棄物も、事業系一般廃棄物として、行政の指導に基づき大学の責任で処理施設へ運搬して適切な処理をすることが義務付けられる。

また、それら一般廃棄物とは別に、危険性の高いものや、事業に応じて出てくる廃棄物は「産業廃棄物」として分類され、より厳格なルールに法った廃棄処理が求められる。実験系廃棄物等はこの産業廃棄物に該当することになる。

大学では、教育、研究、医療などの様々な特殊な事業活動を行い、それに伴い必ず廃棄物が生じる。大学としての責任ある立場からもこれらは自らの責任において、ルー

ルを徹底し、適正に処理しなければならない。

3. 廃棄物に関するルールの概説

紙くず、生ゴミ、空き缶等の一般廃棄物の捨て方は学内のルールに従い、確実な分別廃棄を徹底すること。ここではその他の特に注意が必要な実験活動において排出される廃棄物の考え方、ルール等について概説する。

3-1. 実験系全般

3-1-1. 実験系廃液

実験に伴って生じる廃棄物の代表的なものが化学薬品類を使用した後の廃液である。これらは危険物であるため、廃棄処理には厳密なルールがあり、処理委託するまでの保管時にも十分な注意が必要となる。以下に主な注意事項を上げる。

廃液の保管における注意事項

- 実験系廃液は薬品と同じ危険性があり、貯蔵量が多く危険性が高いため、十分注意すること
- 廃液は決められた容器に貯留すること。処理業者によって、指定されたポリ容器や缶などがある場合がある。また、床下へ浸透しないためにも古い容器を用いないこと。
- 廃液容器には漏斗を差したまま放置することなどせず、ふたや栓は必ず閉めること。廃液容器のふたの閉め忘れにより、空気中に有害な化学物質が蒸発流出している事例が多く見受けられる。各人の健康を守るために十分注意すること。

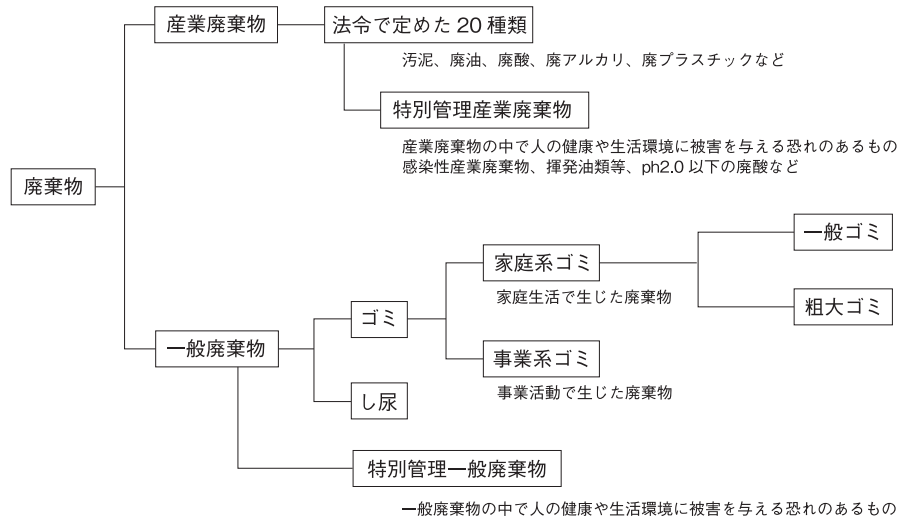


LC廃液瓶(ふたの開放に注意)



廃液タンク

- 著しい悪臭を発する物質を混入させないこと
- 廃液で容器内を満タンにせず、上部に5cm程度の空間を設け、傾けても漏れないようにすること。特に暑い時期には、廃液の上部に空間がない場合、液膨張で缶破裂のおそれがある。



参考：廃棄物処理法に基づいた廃棄物の分類図

- 通路に実験系廃液容器を置かないこと。
- 実験系廃液をベランダ等の屋外に保管しないこと。
- 薬品類と同様に、廃液容器や保管庫は転倒しないような措置をとり、床下へ浸透しない場所・方法で保管すること。浸透すると、土壌・水質汚染になるばかりでなく、有害物質が階下へ漏えいした場合には、深刻な事故へ発展する可能性がある。



写真：廃液の貯留例(廃液用の一斗缶使用)

分別保管の徹底

無機廃液、有機廃液共に、処理委託する場合、分別貯留が必要となる。この分別貯留区分を守らないと、処理を委託することができない。複数物質の混合や、貯留の際の条件は処理時の危険を回避するためにも必須のルールであり、必ず分別貯留区分を遵守すること。

外部委託によるトラック運搬中で、廃液漏えいや破裂事態を招いた場合には、市中で大惨事を引き起こす可能性があり、排出元の責任問題となる。特に以下の点には注意をすること。

- 実験系廃液は種類毎に分別し、危険等級に応じた所定の容器で保管・処理する必要がある。特に、混ぜることで反応を起こし、爆発や有害物質を発生するような組み合わせが薬品には多数存在する。貯留されている薬品の内容物を明確にすることや、分別をきちんと行い、いたずらに混合しないことが極めて重要。
- 貯留、排出時の条件には様々なものがある。一般的な条件を下記に示すが、これ以外にも業者によって条件がある場合があるので、それらは必ず遵守すること。

例：

- ・ pH条件：貯留する物質によっては、条件によって有毒ガスなどが生成してしまう恐れがあるため、アルカリ性の条件、または中性条件での貯留が求められる場合がある。
- ・ 有機廃液の貯留は重金属や酸等の腐食性物質等を混合せず、できるだけ単一成分で貯留すること。
- ・ 酸性物質と炭酸塩が混合し炭酸ガスが発生する可能性もあるため、炭酸塩の混入は行わないこと。
- ・ 有機廃液中に水分が含まれると処理方法が変わる場合がある。水分の除去や、含有条件なども注意して確認すること。
- ・ 沈殿物や混合して沈殿の生じる物質を混入させないこと。また、固形物がある場合は100メッシュ金網等を用いて除去すること。
- ・ 無機廃液の場合、フェライト化反応によって処理する場合が多くある。この場合、有機物はフェライト化反応を著しく妨害し、また酸化剤と混じた場合は、爆発の危険性もあるので有機物は必ず除去すること。
- ・ 無機廃液の一般重金属廃液にシアン含有廃液が混入した場合、処理されずにそのまま下水道に流出し法令に違反する可能性がある。分別貯留を遵守すること。
- ・ 錯体等は、予めポリタンクに過マンガン酸カリウム等を添加して錯体を分解するようにすること。

廃棄時の注意事項

- 危険薬品は一般廃棄物とともに決して捨てないこと。必ず処理可能な専門業者に委託依頼し、適正に処理する必要がある。部局によって、一括で委託している業者がある場合や、委託依頼の方法や、捨て方のルールがあるので必ず確認した上で対応すること。
- 薬品を含有した廃液は、流しなどからの排出は厳禁。抽出の際の水相も直接流しに捨てず、廃液として回収すること。排除基準値超過など地域の環境汚染の原因になるので十分な注意が必要。とくに水質汚濁防止法・有害物質は、排水から検出されてはいけないので特段の注意が必要。(巻末 化学薬品の管理要領参照)
- 器具類を洗浄するときは2回目の洗浄廃液までは、洗浄廃液を該当する廃液タンクに入れること。3次洗浄水以降しか流し等に流さないようにすること。(巻末 洗浄前処理方法参照)
- 有害物質使用の場合については、取り扱う施設(実験台流し等)の定期点検を実施すること。(巻末 点検表参照)
- 濃リン酸、濃フッ化水素酸、有毒性・発火性廃液及び病原体により汚染されている廃液は処理施設では取り扱わない場合があるので、必ず確認すること。
- 処理業者によっては処理ができない金属類などがある(オスmium、セレン、ベリリウム、タリウムなど)。確認した上で委託すること。
- 薬品類や廃液の取扱時には、十分な作業スペースを確保し、受け皿内で行い、飛散、流出を防止すること。

- 廃液の回収時は、容器から漏れないことを確認し、搬出すること。
- 薬品類や廃液の取扱時には、飛散、流出に注意し、万が一に備え、可能な限り回収できるように吸着剤やウエス等を常備すること。

Topics : 器具の洗浄と残留濃度

「器具類を洗浄するときは2回目の洗浄廃液までは廃液タンクに入れる」の根拠について、実測した実験がある(本学環境安全研究管理センター協力)。

実際に、1Lの三角フラスコに高濃度の有害物質を含有する模擬試験液を入れ、試験液を別容器に回収した後、50mLの水で4回洗浄する。この洗浄水の、2～4回目の洗浄水について、各有害物質濃度を測定し、濃度の減少傾向を把握し、検出限界以下になる洗浄回数を求めた実験である。なお、脂溶性の有機溶剤類については、水ではなく、アセトン溶液としている。

カドミウム、鉛等の重金属、ホウ素、フッ素、シアン、ジクロロメタン、四塩化炭素、ベンゼン、ジオキサン、アンモニア、硝酸など、32種類の物質について、測定を行った結果、全ての有害物質濃度は、3回目洗浄で検出限界以下となることが分かった。

1回の洗浄によって、残留濃度はほぼ全ての物質について、10000分の1以下になることが分かり、3回の洗浄によって全ての物質が検出限界以下となった。特に、水溶性の物質であれば、洗浄水中の有害物質濃度は、洗浄回数に従い、ほぼ定量的に減少すると推定され、洗浄水中の有害物質濃度(C)、使用試験液の濃度(C₀)、使用容器への残留量(a)、洗浄水量(b)、洗浄回数(N)の間には、

$$C = C_0 \times (a/b)^N$$

の関係が成立すると考えられる。

洗浄の方法、使用する物質によっても差はあるが、おおよそ「器具類を洗浄するときは2回目の洗浄廃液までは廃液タンクに入れる」と言える。

その他

- 薬品の入っていた容器をリサイクルごみとして廃棄する場合、容器を空にして必ず中を洗って乾燥させること。
- アスピレーターを用いた溶媒濃縮時、沸点が低く、水溶性が高い溶剤は、毒性が高いにもかかわらず、気付かないうちに排水へ流出してしまう可能性がある。たとえばジクロロメタン(塩化メチレン)は排水基準値が<0.2mg/Lと低いので、有効なトラップを備えたダイヤフラムポンプを使用して溶媒濃縮することが必要。
- 写真系の廃液(現像液、定着液)も有害廃液である。処理可能な業者に必ず処理委託し、処分すること。
- PRTR制度に該当する化学物質は移動量を記録しておく必要がある。記帳するなどして届出に備えること。

3-1-2. 実験系固形廃棄物

実験において生じる廃棄物には前節で述べた液状の廃液以外にも固形廃棄物が

多く発生する。これらの固形廃棄物も捨て方の原則は前節と同様である。分別保管し、適正な処理が可能な委託業者に依頼し、処理する必要がある。その際、内容物を明確にしておくこと、及び針状物質などの感染性、あるいは感染性が疑われるような物質は混同しない、など注意が必要である。

3-1-3. 実験系機器類

実験活動においては分析機器や、切削機器等の機器類を多く使用する。これらの機器を廃棄する際にも、注意が必要である。一般的にこれらの機器類は通常は粗大ゴミとして取り扱うことができ、定期的に部局等で一括処理を行っている。廃棄時のルールを徹底し、適正に廃棄すること。

その際、忘れられがちな注意点として、機器類には、有害物質を含んでいる機器が多くある。それらの有害物は前述の実験系の廃液や固形廃棄物として取り扱う必要があるため、機器類から必ず除去して、別途廃棄する必要がある。あるいは有害物質を含んでいることを確認の上、指定の業者に廃棄依頼すること。通常の粗大ゴミ置き場等に適当に捨てることは絶対にしてはならない。

有害物質が含まれている機器例(これ以外にも多数の機器類がある。必ず確認すること):

- 水銀含有機器：流体実験用マノメータ、圧力測定機器(血圧計、真空計等)、水銀スイッチ、水銀リレー、pHメータ、温度計、蛍光灯、ランプ、(古い)電池
- PCB含有機器：変圧器、放電コイル、変成器、電力用コンデンサ、リアクトル
- アスベスト含有物：恒温槽を持った機器(断熱材として使用)(含有しているかどうかは販売メーカーが必ず情報を提供している)、石綿金網
- バッテリ：硫酸銅など有害物を含む場合がある。

3-2. 生物系廃棄物

生物系廃棄物には病原体、病原微生物、遺伝子組み換え生物、実験動物など生物系実験に付随して発生する様々な廃棄物がある。これらの生物、廃棄物は「生物実験の安全のために」の章に多数の記載があるように、取扱上、大変危険を伴う。そのため、保管、使用の基準、滅菌等の基準が設けられており、届出などの法的な規制も厳しく定められている。取扱等の詳細は前述の「生物実験の安全のために」の章を参考されたい。この項ではそれらの危険な生物、物質を廃棄するための注意事項に関して概説する。

この項で述べたもの以外にも、実験器材の中には廃棄物分類が迷うものも多く出でくる。その場合、各部局で定められた規定、管理者の指示に従い、適切な廃棄物処理法を十分理解して実験にあたる必要がある。

3-2-1. 感染性廃棄物の分別と滅菌

感染性廃棄物とは「人に感染、または感染するおそれのある病原体が含まれ、若しくは付着している廃棄物又はこれらのおそれのある廃棄物」のことである。生物系実験によって発生する廃棄物は多くがこの感染性廃棄物であり、廃棄処分にも厳格なルー

ルが定められている。

実験終了後は基本的に全てオートクレーブ(高圧蒸気滅菌器)等の処理によって、滅菌処理を行い、死滅、つまり無害化させた後に廃棄する必要がある。滅菌処理を含めた一般的な注意事項を以下に列挙する。

- 感染性廃棄物は感染症の汚染源となる可能性があるため、適切に分別して処理すること。
- 廃棄物は一般廃棄物(可燃物)、一般廃棄物(不燃性)、医療用廃棄物(血液等が付着した遠心チューブやピペット、注射器・針等：可燃物、不燃物を問わない)に分別すること。



写真：病原体を含む廃棄物は「可燃物」と「不燃物」(オートクレーブ用のバッグ内に可燃物、不燃物の表示、および実験者の所属も記載し、蓋付きの缶内に保管)、および医療用廃棄物(可燃物、不燃物を問わない)に分け、実験終了後はオートクレーブ滅菌する。オートクレーブ滅菌済みを示すテープ(矢印)を付けておくこと便利。

- 感染性廃棄物は、適切に滅菌処理した後に廃棄すること
- 分別されたそれぞれの廃棄物は、滅菌処理が行われるまでの間は蓋付の容器に保管されていること、また早め早めの滅菌操作が行われていることをチェックすること。
- 実験に用いた注射器など鋭利な器具(あるいはガラス片)は、感染事故の原因となるため、蓋付き金属容器(メスキュード缶等)に密封しオートクレーブ等で滅菌後に廃棄を委託するか、金属容器に「感染性・滅菌済」と明記し感染性廃棄物処理業者に委託すること。
- 感染性廃棄物を分別したメスキュード缶は、専門の収集運搬業者と契約すること。
- 実験室で感染性のあるものに汚染された器材(試験管、シャーレ、ピペット等)はもちろん、間接的に試料に接触した器材、感染が明らかではないが、そのおそれのある試料に接触した器材などもすべて感染性廃棄物として扱う必要がある。滅菌操作を行った後に廃棄すること。
- 滅菌前のものと区別するために、滅菌済みのものは滅菌済み表示テープを付けたと安全。
- 少なくとも年に一回のオリエンテーションを行い、滅菌後の廃棄について周知徹底すること。
- オートクレーブ操作が実験終了後に速やかに、適切に行なわれていることを確認すること。

3-2-2. 感染性が疑われる廃棄物についての注意

使用後に、滅菌をきちんと行った器材や、付着している血液が清浄な動物のもので、

感染性ではないものであったとしても、「滅菌済みであることが確認できない、ヒト血液と動物血液と外観からは区別できない」などの理由から、感染性廃棄物に準ずるものとして扱うことが求められる場合がある。特に注射器はたとえ未使用であってもヒト血液、体液に接触することが前提の器材であり、それに加えて、物理的な傷害を引き起こすこと、感染試料に接触したものは感染事故を起こしやすいことから、未使用、滅菌済みを問わず、すべての感染性廃棄物として扱わなければならない。

3-2-3. 遺伝子組み換え生物、実験動物等についての注意

生物系の廃棄物の中には、病原微生物等以外にも、組み換え遺伝子実験で用いた生物や、動物実験で用いた動物も含まれ、処理時には明確なルールが決められている。



写真：感染性廃棄物を入れるメスキュード缶

遺伝子組み換え生物

遺伝子組み換え生物は元来自然界には存在しないものであり、自然界への流出を防ぐ必要がある。以下の点に留意する必要がある。

- 高圧蒸気処理(オートクレーブ、121℃、20分)にて滅菌後、廃棄すること。
- 高圧蒸気処理が講じられない場合は、0.5%次亜塩素酸等にて30分間滅菌後、廃棄すること。シャーレ(寒天培地)は、滅菌処理の後、厚手のビニール袋に入れ、「滅菌済」と明記して、委託業者に依頼し、廃棄処分すること。
- 実験動物
- 動物実験で用いた実験動物は、感染性であるか、遺伝子組み換え生物か等でも対応が変わるため注意が必要である。以下の点に留意する必要がある。
- 定められた安楽死法を用いて死亡を確認した後、不透明な密閉できる包装を行い死体処理場へ運ぶこと。
- 一般実験動物の場合、動物は無菌状態を維持して飼育された場合(SPF動物など)を除き、病原菌を保持している可能性を常に考慮し、直接手に体液等が触れないようビニール袋を用いること。
- 処理を行う際、特に冷凍処理により袋が破損する恐れがあるため注意すること。万が一、破損により体液等が流出した場合、直接手に触れないように除去すること。
- 感染性動物・生物、遺伝子組み換え生物の場合、安楽死させた後、高圧蒸気処理(オートクレーブ、120℃、20分)にて滅菌後、厚手のビニール袋等に密封し、冷凍庫に保管し、委託業者に依頼し、焼却処分すること。
- 滅菌処理が不可能な場合は、「感染性・未滅菌」と明記し感染性廃棄物処理業者に委託すること。

- 感染性動物や遺伝子組み換え生物に該当しない場合、安楽死後、厚手のビニール袋等で密封し、冷凍庫に保存、委託業者に依頼し、焼却処分すること。また、「非感染性」と明記すること。
- 実験に用いた、器具や実験台はよく洗浄すること。

3-2-4. 一般微生物の廃棄

病原性、遺伝子組換え、感染性のいずれも該当しない微生物培養液は、実験排水として廃棄する必要がある。ただし、培地等が滞留して雑菌の増殖が起きないように注意が必要である。吹田キャンパスでは吹田市との協定により施設ごとに排水の方法が異なる。その他のキャンパスも含め、排水の方法について確認の上、処理しなければならない。

病原性、遺伝子組換え、感染性のいずれも該当しない微生物実験に使用した寒天培地についても、廃棄途中で雑菌等が繁殖することを防ぐため、オートクレーブ滅菌可能なビニール袋に入れてオートクレーブ滅菌(121℃、20分)し、委託業者に依頼して焼却処分する必要がある。

3-3. 放射性物質の廃棄

放射性廃棄物は放射性物質を含む廃棄物の総称であり、大学では主に、放射性同位元素(ラジオアイソトープ:RI)を使用する実験施設から排出される。また、同じ放射性物質の中でもウラン(U)やトリウム(Th)、プルトニウム(Pu)を含むものは核燃料物質とよばれ、放射性同位元素とは別の扱いをする必要がある。

これら放射性物質は、使用可能な施設が限定されること、取り扱う場合は、教育訓練、健康診断等を受けた上で、登録を行わないと使用ができないこと等、多数の規制がある。それら取扱上定められていることは別途、確認する必要がある。ここでは廃棄時の注意点に関して概説する。

3-3-1. 非密封RIと放射性汚染物の廃棄

放射性同位元素は、密封されたものと密封されていないもの(非密封)に分類でき、トレーサー実験などでは後者を使用する。非密封放射性同位元素の取扱いはRI実験室に限定されており、実験過程で発生する放射性汚染物も含めて、RI実験室外への持ち出しは厳禁である。放射性同位元素と放射性汚染物の廃棄は、実験室内の廃棄物貯蔵施設に置いてある放射性廃棄物保管容器に投入する。取扱と廃棄についての記録をつけることが決められている。



写真：放射性汚染物の保管例：ドラム缶での保管

3-3-2. 密封線源の廃棄

放射性同位元素の下限数量以下の密封線源は、RI実験室以外のどの場所でも誰が取り扱っても問題ない。取扱いによって放射性汚染物が発生することもない。線源を廃棄する場合には、日本アイソトープ協会に引き取りを依頼する必要がある。

3-3-3. 放射線発生装置と放射化物

サイクロロンなどの放射線発生装置ではその運転に伴って放射能をもつ放射化物が発生する。放射化物の廃棄は、放射性汚染物の廃棄と同様に放射性廃棄物保管容器に投入して、その後の処理は管理者に任せる。

3-3-4. 核燃料物質の廃棄

ウラン(U)やトリウム(Th)、プルトニウム(Pu)等の核燃料物質等を廃棄する場合、放射性同位元素とは異なり、日本アイソトープ協会等に引き取ってもらうことはできず、他の核燃料物質取扱施設(J施設)等に引き取ってもらう必要がある。また、核燃料物質を使用した後に発生する汚染物等は、通常の廃棄物とは別に専用の廃棄物として保管する必要がある。特に、非密封のRIと混合させると、放射性廃棄物として処分ができなくなるため、注意が必要である。

3-3-5. その他

2011年3月の東日本大震災に伴う福島第一原発から飛散した放射性物質は、核燃料物質によって汚染されたもの(核分裂生成物等)と解釈され、原子炉等規制法および電離則の規制を受ける。また、汚染物の処分では、通常のRI廃棄物とは全く別の物とみなされ日本アイソトープ協会の放射性廃棄物集荷の対象外なので、決して集荷用ドラム缶に投入してはならない。この汚染物の処分は、特別措置法(環境省所管)に従って行うことになる。

4. 実際にあつた廃棄物に伴う事故

実際に学内外で、廃棄時に起きた事故を数例上げる。多くは廃棄の際のルールの徹底、分別貯留、薬品管理等を行い、適正に使用、保管管理していれば避けられる事例である。また、ここに上げた事例だけではなく、廃棄時は通常の実験のように集中していないことも多く、うっかりしたミスで受傷してしまうケースも多く見受けられる。

4-1. 水銀漏洩

3-1-3項でも述べたように水銀は圧力測定器など、特に古い測定機器に含まれているため、含まれていることを知らず、そのまま廃棄することで室内の床上や、屋外の路上などに漏洩してしまうケースが多々報告されている。

事例1：大型ゴミ廃棄場所において、大型ゴミの回収業者が物品を回収後、アスファルト一面に水銀が散在していた。大型ゴミの中に、水銀を含んでいるものが混在

していたと予想される。周辺を立ち入り禁止にし、掃除機を用いて、散在した水銀を徹底除去した後、アスファルトの空隙の残留物を除去するために、ショベルカーを用いて、水銀で汚染されていたアスファルト自身を深さ10cm程度削り取り、それらは全て水銀廃棄物として処理した(専門の業者に委託)。



事例2: 大型ゴミ回収に出していた金属製ビンの内容物を確認するために傾けたところ、中に入っていた水銀がこぼれ、道路に散乱した(事後処置は事例1と同様)。

事例3: 大型ゴミ回収にマンメータ(圧力計測機器)が出されていた。ガラス製であったために、下部が割れており、中身の水銀が流出し、路上に広がっていた。水銀は下水升にまで広がっており、緊急で水路の停止を行った。その下水升から先の流路の貯め升において、貯め升の清掃を行った。同時に全ての升で水銀濃度の測定を行い、検出されなくなるまで、清掃と測定を繰り返した。

※水銀に限らず、危険物の漏洩は漏洩現場だけでなく、飛散範囲が下水や雨水枳に至った場合、水路系の閉鎖、徹底清掃等を行う必要がある。また、回収の業者や、業者のトラックなどが同様に汚染されてしまった場合、それらの移動経路にまで被害が及ぶ危険性があり、被害は甚大なものになる恐れがある。

また、機器類に使われている化学薬品以外にも、化学薬品のビン自体をそのまま一般粗大ゴミ置き場に放置したり、本棚、収納棚等の棚類の中に薬品を入れたまま、粗大ゴミ置き場に捨ててしまう、といった事例も多数起きている。そこに危険物があると知らない人が取り扱うことになり、一歩間違えれば、甚大な被害に及ぶ危険性がある。これらは全て廃棄のルールに従っていれば避けられた事例である。

4-2. 古い試薬、内容物不明の試薬による被害

古い試薬は大変危険である。ビンや、容器自体が古くなることで割れやすくなっている危険に加えて、元々危険性を有する化学薬品が古くなることでビンの中で酸化したり、異物が混入したりすることで反応性の増加、爆発性などを有することも多々あり、過去には、産業界も含め、大きな事故が起きている。古くなった薬品は保管しているだけでも危険であり、また、内容物が分からなくなると、処分する際のコストも圧倒的に高くなる。薬品は常に適正に管理しておくことが重要である。

事例1: ラベルのなくなってしまう古い試薬の中身を分析しようとしたが、ビンのフタが固着しており、なかなか開かなかった。仕方なく、ビンの上部のガラスを切り、中身を取り出そうとしたところ、ビンごと破裂し、中の溶液を全身に浴びてしまった。後の調査によると、薬品は塩化チタンであり、ビンの内圧が上昇していたことに加えて、開封と同時に一気に空気中の水分と反応し、噴出したものであった。

事例2：研究室の薬品庫で保管していた廃液タンクから混酸がスチール製の薬品庫内に漏出した。漏れ出た薬液は階下の図書室の床面まで滴り落ちた。漏出原因は容器側面に微少な亀裂が生じたためである。廃液貯留タンク容器の劣化に注意が必要である。



4-3. 廃液用一斗缶の破裂

廃液であっても元は化学薬品であるため、危険物である。そのものが危険であることに加えて、特によくある事例として、“捨てるものだから混ぜてしまえ”という意識で、混ぜることが危険な組み合わせを混ぜてしまい、破裂、爆発が起きている事例が多くある。分別貯留の徹底、混触の回避は廃液の保管に際して特に重要な点である。

事例1：研究室において、廃液用の一斗缶に真空ポンプの廃油を入れていた。この缶に、少量のクロロホルム含有廃液を入れて閉栓し、屋外ベランダに置いていたところ、約10分後に缶が破裂した。廃液が階下にまで飛散し、破裂した一斗缶により天井が破損した。



事例2：半導体のエッチング作業場において、過酸化水素水、硫酸の入った廃液回収用ポリタンクに誤って塩酸、リン酸の入った混合液を混入したため、塩酸ガスが発生し、両目結膜角膜障害を負った。

その他、有機溶剤とアルカリや酸の異常反応によって、液が吹き出し、浴びてしまった事例、紙で化学薬品をふき取ったものを普通のゴミ箱に入れたことで紙くず等と反応し、ゴミ箱が炎上した事故など多数発生している。

4-4. ガラスゴミ用のゴミ箱での被災

生物系、医療系の現場では、感染性のガラスゴミが捨てられているゴミ箱がある。ゴミがあふれていたために脇を通りかかった時や、別のゴミを捨てる際に受傷してしまった事故なども多く発生している。

5. 終わりに

これまでに述べたように、実験活動によって発生する廃棄物は、大きな危険性を伴っており、廃棄には厳格なルールがある。特に、使用を継続することで、その物質の取り扱い、廃棄法に慣れてくるとその危険性について感覚がマヒし、扱いも適当になってくる。

これに伴って、適当な廃棄を行ってしまう例が多く見受けられる。

「やってしまいがちなことだが、絶対にやってはいけないこと。」という意識を持ち、そのために必要な取り扱い、廃棄方法の確認、日々の点検、新人への教育等、怠らず行う必要がある。

廃棄物は最終的に処理場に持っていかれ、処分される。処理企業における災害事故は、実は他の事業に比べて1ケタ以上多く発生している。これらの多くは不適切な分別や、廃棄によるものである。ルールが守られて始めて、安全な状況での廃棄が保たれる。このためには扱うものの自覚とモラルが何よりも大切である。大学での活動を行う皆さんはそれぞれの分野でのプロフェッショナルである。プロとしての自覚とモラルを持ち、実験に励んで頂きたい。

XV. 防火・防災のために

XV. 防火・防災のために

1. 火災発生時に対応するために

1-1. はじめに

実験に伴う火災の発生防止対策(リスク管理)をとっていたにも拘らず、火災が発生した場合の初期対応は「被害を最小化する」対応(危機管理)が求められる。

起こってしまった火災の被害最小化のための初期対応では何を守るのかを見失わない事が必要で、守るべき最大のものは「人命」である。

出火場所において初期消火にあたるのが危険だと感じたら、初期消火を断念して出火室の扉を閉めて安全な場所(出火階より下階)に避難することである。

大学の実験室など各部屋の建物構造は、壁・天井・床が耐火材で構成されており、廊下側に面する出入口扉は不燃材が使用していることから、出火した部屋から上階や隣接する部屋に延焼拡大するおそれはない。従って、初期消火に失敗しても、また、仮に初期消火しなくても出火した部屋内で燃焼(物的被害)が治まる。

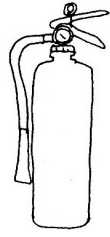
火災発見時、燃焼の炎が自分の背丈より高く立ち上がっていたら、初期消火の限界と見做して出火室の扉を閉めて安全な場所に避難することが重要である。その際、出火室の扉を開放した状態で避難すると、出火室以外の廊下や隣室に延焼拡大しなくても、出火室からの煙が出火階や上階に拡散し避難対象範囲が拡大し人命危険が増大する状況となる。

火災の第一発見者は、初期消火が可能な状態か見極めると共に、火災の発生を「自動火災報知設備の発信機を押下する」などして建物内にいる人に知らせることが「被害の最小化を図る」ために必要なことである。

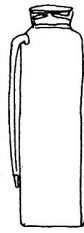
1-2. 消火器の取り扱いについて

- ・火災の種類、程度に応じて有効適切な消火方法をとること。
- ・消火器の種類、取扱法、設置位置を日頃からよく心得ておくこと。

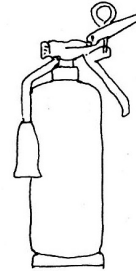
消火器の種類	成分	特徴	適応	不適応	消火原理
水消火器	水		一般火災・電気火災	油火災	冷却作用
炭酸ガス消火器	二酸化炭素	消火器がきれいで実験室向き。射程が短く、風に弱い。初期消火、小規模火災向き	油火災・電気火災	一般火災	窒息・冷却作用
粉末消火器(ABC)	リン酸アンモニウム	消火効果大 放射時間が短い 薬品・器材類に与える影響大	一般火災・油火災・電気火災		窒息・抑制作用
強化液消火器(ABC)	炭酸カリウム	照程大 火種が残りやすい 火災に効果的	一般火災・油火災・電気火災		冷却・抑制作用
機械泡消火器	界面活性剤	粉末の即効性と水系の確実性を併せもつ	一般火災・油火災	電気火災	窒息・冷却作用
化学泡消火器	炭酸水素ナトリウム 硫酸ナトリウム	垂直面の消火にも有効 消火後の汚れ大	一般火災・油火災	電気火災	窒息・冷却作用
ハロン 1301 消火器	ブロモトリフルオロメタン	被災物を汚さない コンピューター火災	一般火災・油火災	一般火災	窒息・抑制作用
金属火災用消火器	食塩・砂		金属火災・立体的な火災		窒息・抑制作用



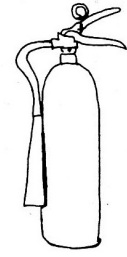
粉末(ABC)消火器



化学泡消火器



ハロン1301消火器



炭酸ガス消火器

1-3. 火災の初期対応

1-3-1. 火災第一発見者の初期対応

炎の状態を確認し、初期消火の可否判断をおこなう。

● 初期消火が可能な場合

- ・ 煙の拡散防止と燃焼を抑止するため、一旦出火室の廊下側の扉を閉め「火事だ～」と連呼しながら発信機の場所及び消火器設置場所に行く。
- ・ 発信機を押下し、出火室に消火器を搬送する。
- ・ 出火室の扉を開け出入口扉(退路)を背にして消火器で初期消火する。
- ・ 消火効果を確認し、消火の継続か断念かを判断する。



● 初期消火が不可能な場合

- ・ 出火室の扉を閉め、最寄りの発信機を押下して火災の発生を建物内の人に知らせる。
- ・ 出火場所に駆け付けた自衛消防隊員(1-3-3参照)等に出火室の燃焼状況などを報告する。
- ・ 報告後避難する。

1-3-2. 火災第一発見者の声や自動火災報知設備の非常ベルを聞きつけて

出火場所に駆付けた者の対応

- ・ 手分けて初期消火・避難誘導・防火扉の閉鎖・自衛消防隊員への火災状況報告などを行う。
- ・ 効率よく対応するためには、駆付けた者の中から、誰が、何をするかを指示する者(仕切屋)が必要である。指示することにより組織的・効果的な対応ができる。駆付けた者の構成メンバーにより仕切屋が決まる。

1-3-3. 自動火災報知設備の非常ベルを聞き火災対応にあたる自衛消防隊

「自衛消防隊」とは、防火・防災を目的として、教職員などで構成する組織であり、起きた火災や地震災害で人的・物的被害を最小限にするために活動する組織である。消防法においても、防火管理者や防災管理者を選任し防火・防災管理を必要とする部局は、火災や地震に対するリスク管理をおこなうと共に、自衛消防隊の設置が義務付けられており、自衛消防組織員は火災発生を自動火災報知設備の非常ベルを聞きつける等火災発生を認知した段階から、事前に定められた役割分担に従って火災の初期対応活動に着手することとなっている。

自衛消防組織の班員は以下のような点に注意し、活動する必要がある。

- ・初期消火班員は出火場所に駆け付け、火災第一発見者などから出火室の燃焼情報などを聴取すると共に、出火室の延焼状況や延焼拡大要因などを見極め初期消火の継続か断念かを判断する。
- ・初期消火を継続したことにより被害(水損・消火薬剤による2次損害や煙損・破壊損など)が拡大してしまうことが無いように消火方法及び消火手段(ABC消火器・二酸化炭素消火器・屋内消火栓・密閉消火など)の選択を行う。
- ・初期消火を断念する場合には、出火室の扉を閉めて避難する。
- ・避難誘導班員は煙汚染の恐れがある出火階とその上階を避難対象区域として避難誘導する。
- ・階段室に煙が侵入しないよう出火階の階段室に設置されている防火扉を閉鎖し、安全に避難誘導する。

出火階に面積区画の目的で防火扉が設置されている場合には、手動で閉鎖する等煙の拡散防止をおこなう。

- ・通報連絡班の班長は、自動火災報知設備の受信機及び非常放送設備の設置場所を活動拠点とし、班員からの火災情報などを基に非常放送設備などを活用して避難誘導放送をおこなう。
- ・通報連絡班の班長は、出火階に直行した通報連絡班員からの火災情報及び対応情報等を聴取し、班員に119通報を指示する。
- ・通報連絡班員は、出火場所に駆け付け火災状況を把握し班長に報告する。
- ・通報連絡班の班長は、消防隊が火災現場到着時に火災室の状況を報告する教職員を指名し、建物の玄関付近に配置、出火室の状況を報告と消防隊員を誘導にあたらせる。

1-4. 火災発生時安全に避難するために

- 建物内のどの階段を使用すれば安全に避難できるか階段の特性を理解しておく
 - ・一番安全な階段は「屋外階段」である。次に、階段室に至るまでに二つの防火扉がある「特別避難階段」は階段室内に煙が入り込まない「クリアゾーン」であり、安全な階段である。
 - ・非常階段には三つの種類があり、階段室の防火扉が常時閉鎖されている「常時閉鎖式非常階段」、火災の煙を感知することにより常時開放されている階段室の

防火扉が自動閉鎖する構造の「煙感知器連動非常階段」、常時開放されている階段室の防火扉に火災の熱で作動する温度ヒューズが作動して階段室の防火扉が閉鎖する構造の「温度ヒューズ付非常階段」がある。

- ・「常時閉鎖式非常階段」は特別避難階段と同様、火災時階段室に煙が侵入しない「クリアーゾーン」で安全な階段である。
- ・「煙感知器連動非常階段」は、階段室に煙が若干侵入してしまっている階段である。
- ・「温度ヒューズ付非常階段」は、階段室に煙と熱気が侵入してしまっている階段で避難時に使用すると危険な階段である。

- 火災に直面した時、人間は理性的判断による思考や行動ができなくなり、危険な場所から逃避しようと衝動的行動をとってしまうという避難行動特性があることを理解しておく

- ・ 日常使い慣れた廊下、階段を利用して避難する傾向がある。

(日常動線指向性)

- ・ 初めて入った建物では、入ってきた経路を避難時に利用する傾向がある。(帰巢性)

このようなことから、建物内に複数ある階段の中で普段から安全な階段を定期的使用する習慣付けが必要である。自衛消防隊避難誘導班員も建物内の安全な階段に関する知識を習得しておく必要がある

- 火災時発生する煙の特性を理解しておく

本学の建物は、気密性の高い耐火建物のため火災発生時には燃焼に必要な空気の供給が不十分のため燃焼が抑制され、火災の発生初期には多くの煙が発生する。

発生した煙は避難経路である廊下を毎秒0.3～0.8mの速さで横方向に広がり、階段等の堅穴区画に入ると毎秒3～5mの速さで拡散し避難者の視認障害や呼吸障害を伴い避難の障害となる。

2. 地震対策

2-1. はじめに

本学に被害を及ぼすこととなる南海トラフを震源とする東海・東南海・南海地震など、海溝型地震は、100年から150年周期で発生しており、昭和19年の東南海地震、昭和21年の南海地震から70年弱経過し、また、安政の東海地震から150年以上が経過している状況である。

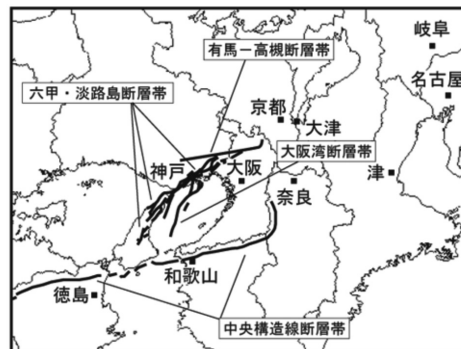
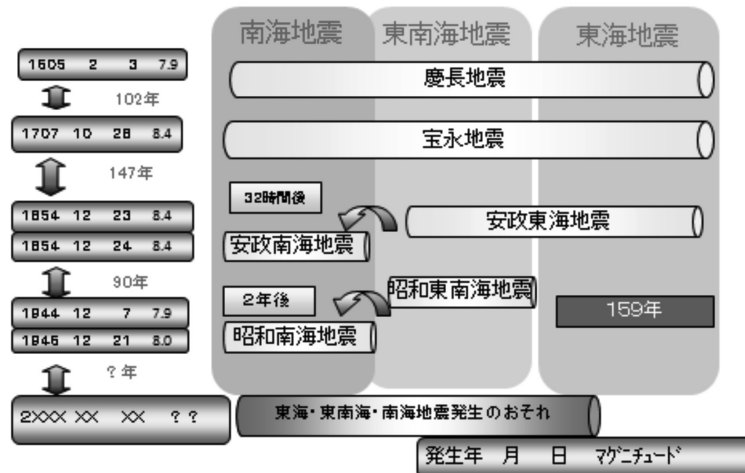
東海地震は、過去の発生経過からいつ起こってもおかしくない切迫性が叫ばれており、東海地震に誘発されて南海トラフを震源とする東南海地震、南海地震の3連動地震が起きる可能性があり、3連動地震に備えた防災対策が喫緊の課題となっている。

また、過去の地震発生の歴史をみると、海溝型地震の発生前後には西日本にある活断層を原因とする「内陸直下型地震」が発生している。「上町断層」「有馬高槻断層帯」「六甲淡路断層帯」などが本学付近に存在し、これら活断層地震が発生すると甚大

な被害を及ぼすこととなる。

地震災害に対する取り組みは、被害を最小化するための事前の「建物の耐震化」、
「備品の転倒防止」「落下物対策」などのリスク管理と地震発生時の危機事態対応への
取り組みが求められる。

■ 東海・東南海・南海地震の発生の歴史



2-2. 身の安全を守るための事前対策

● 建物の耐震化

地震に伴う建物倒壊などから学生・教職員の生命を守るため建物の耐震化が順次
計画的に進められており、平成27年度には耐震化計画の事業終了予定である。

● 備品類の固定

強い地震時の揺れに伴う書棚など備品の
転倒から学生・教職員の生命・身体
を守るため、各部局で自主的に備品類
の固定に取り組んでいる。

備品類の固定は転倒を完全に防止する
ものではない(転倒に至る時間を遅らせる)
ことを理解し、転倒防止を実施してい
ることを過信することなく強い地震の揺れ
時には転倒危険範囲外の堅牢な机の下などに
潜り込み揺れが治まるまで身の安全



を確保することが必要である。

普段から室内の整理整頓と、地震発生時にはどの場所で揺れが治まるのを待つのかイメージし備えておく必要がある。

● 落下物対策

棚や書棚の上など、頭上より高い位置に置いている「硬い物」「重たい物」は強い揺れの地震時には落下ではなく、部屋の中を飛び交うこととなる。また、ガラス容器に入っている液体危険物なども落下より容器が破損し「危険物」が室内に流出することとなる。

危険物の中には、複数の危険物が混合することにより爆発したり発熱する物があり、普段から落下危険のある物は低い場所に置くように習慣付けておくことが必要である。

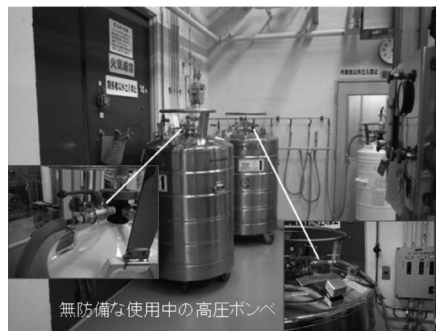
● 移動危険対策

学内ではキャスター付の設備や資機材が多く見受けられるが、使用時には移動しないように建物に取り付けてあるベルトで固定したり、キャスターのブレーキをかける等地震時の揺れにより設備などが移動しないような取り扱いが必要である。

キャスター上の高額な医療用機器などが移動に伴い転倒・落下して使用できなくなったり、キャスター付の重量機器が地震の揺れで室内での暴走を繰り返すようであれば、重大な人身事案の原因となる。



移動防止のためのベルト固定は、固定する相手の強度を確かめておく



2-3. 地震災害を想定した避難訓練

地震災害を想定した避難訓練は、各部局、専攻等で必ず行っている。

地震の揺れが起こっている時に身の安全を確保する場所や地震の揺れが治まった後に行う点検項目、避難ルート、避難場所、避難後の手順等の確認は有事のために必ず確認しておくべき事項であるため、率先して参加し、様々なことを確認してほしい。

避難訓練においては以下のような内容で行うことが望ましい。

- 地震の揺れが治まった後、室毎に各自がお互いの身の安全を確認し合い、次に事前に定めた安全点検項目表に従い、手分けして二次災害防止のための点検に着

手する。(部屋ごとで点検項目は異なる)。

- 室内の点検後、廊下、階段室などの共用部分の被害状況点検をおこなう。
- 壁・天井・床など建物の主要構造部に大きな被害が生じていれば、自衛消防隊に被害状況を報告する。
- 自衛消防隊安全防護班は被害状況を再確認し、屋外の一時避難場所への避難の必要性について被害場所の確認後に判断する。
- 放送設備(停電時にも一定時間使用できる)で一時避難場所への避難の呼びかけがあれば、室員揃って安全な避難経路を選択して避難する。
- 室員全員退出時には廊下側に面する扉に全員避難したことを示す「掲示」をおこなう。
- 屋外の一時避難場所にて室員の避難確認を行い、その結果を自衛消防隊に報告する。



地震災害を想定した避難訓練を定期的実施する必要がある。

- 訓練実施後には必ず訓練内容や訓練実施状況についての検証を行い、課題や問題点について次回の訓練時に反映させるようにする。
- 訓練は「避難を主としたシンプルなシナリオ訓練」から回数を重ねるごとに地震に伴う火災発生やエレベーターの閉じ込め事案、危険物等の漏えい事案、人命救出事案等地震時に起こり得る付加事案を訓練想定に入れ、またシナリオの一部をブラインド化して最終的には「突発訓練」をおこなうように企画する。

※ 「日頃やっていないことは災害時にできない」「日頃やっている事でも災害時にはできない」「災害時にできるのは簡単なこと」

2-4. 休日・夜間の地震対策

一年365日24時間を100%とすると、学校が組織的に機能している時間は、およそ25%で75%が空白時間である。つまり、地震災害は空白時間に起こる確率が高い。

この空白時間帯に大きな揺れを伴う地震が発生しても、火災や有害ガスの発生など異常事態が起きないように実験室内の維持管理をおこなう必要がある。そのために以下のような点を考慮しておくことが望ましい。

- 甚大な被害を及ぼす地震時には、市内の至る所で同時多発的に火災や生き埋め事案の発生などが予測され、本学内で発生した火災事案等に消防機関等公的機関に通報要請しても自己対応せざるを得ないことがある。
- 空白時間帯での地震災害時には早急に研究室に駆け付け異常の有無や二次災害を防止するための対応を必要とされるが、公共交通機関は機能停止し主要道路は

「緊急交通路」として一般車両の通行規制が行われるなど、自家用車による学校への通学(参集)は到着時間が予測できないことが予測される。

- 地震発生時の通学手段としての自転車・バイクなどを確保しておく必要がある。
- 研究室の状況に対応した「自主参集基準」を毎年作成・見直し、地震発生時には、自ら震度情報を収集し基準に基づいた参集と参集者による「二次災害防止の点検」が必要である。
- 多くの時間を過ごすこととなる「我が家」での身の安全を守るための建物の耐震化、家具の固定など事前対策にも取り組んでおく必要がある。

卷 末

学生の保険について

学内及び近隣の医療機関連絡先

事故発生時の連絡票

化学薬品の管理要領

洗浄前処理方法

点検表

AED（自動体外式除細動器）

参考文献

学生の保険について

■ 学生教育研究災害傷害保険(学研災)^{がっけんさい}

この保険は、学生が教育研究活動中に被った「けが」に対して治療日数に応じて保険金が支払われる全国規模の補償制度です。

大阪大学では、全ての対象者がこの保険に加入することとしています。**加入がまだの方は、すぐに加入の手続きをとってください。**

なお、本学では、全員が通学中等傷害危険担保特約付帯の学研災に加入します。

保険金の内容は以下のとおりです。詳細については、加入時に渡している「学生教育研究災害傷害保険加入者のしおり」を参照してください。

保険金が支払われる事故の範囲	死亡保険金	後遺障害保険金	医療保険金	入院加算金
正課中・学校行事中	2,000万円	程度に応じて 120万円 ～ 3,000万円	治療日数 1日以上が対象 3,000円～ 30万円	1日につき 4,000円
通学中 学校施設等相互間の 移動中 大学施設内にいる間	1,000万円	程度に応じて 60万円 ～ 1,500万円	治療日数 4日以上が対象 6,000円～ 30万円	1日につき 4,000円
大学施設外で大学が認めた 課外活動中	1,000万円	程度に応じて 60万円 ～ 1,500万円	治療日数 14日以上が対象 3万円～ 30万円	1日につき 4,000円

(平成30年4月以降)

1. 対象

学部生、大学院生、研究生、聴講生及び科目等履修生(留学生を含む。)

大学施設を単に利用するだけの研修生は対象となりません。ただし日本学術振興会特別研究員は対象となります。

2. 加入方法及び請求方法

《加入方法》

入学手続きの際に「学生教育研究災害傷害保険加入者のしおり」とゆうちょ銀行の払込取扱票を配布しますので、郵便局もしくはゆうちょ銀行の窓口で必ず、通学中等傷害危険担保特約保険料を加算した次の表中の金額を払い込んでください。(接触感染予防保険金支払特約には対応していません。)

なお、入学日以降に保険料を振り込んだ場合は振り込んだ日の翌日午前0時からの加入となります。※ 誤った金額を振り込まれた場合、この保険の対象となる「けが」であっても、保険金の支払いができません。必ず、所属学部(研究科)及び学年に対応した金額を払い込んでください。

注)この保険は、保険証券の発行はありません。振込み後の「振替払込請求書受領証」及び、「加入者のしおり」冊子を大切に保管してください。

学生の保険について

※非正規生から正規生、学部から大学院に進学する場合など身分に変更があるときは、改めて加入手続きを取る必要があります。たとえば、学部在籍時に大学院在籍分の保険料を合算して支払うことはできません。

<学部生>

所属 学年	文 人間科学 外国語 法 経済理 医(保健学科) 薬(薬科学科) 工 基礎工	医(医学科) 歯 薬(薬学科)
1年次生	3,300円 / 4年間分	4,700円 / 6年間分
2年次生	2,600円 / 3年間分	4,050円 / 5年間分
3年次生	1,750円 / 2年間分	3,300円 / 4年間分
4年次生	1,000円 / 1年間分	2,600円 / 3年間分
5年次生		1,750円 / 2年間分
6年次生		1,000円 / 1年間分

<非正規生、留年者>

研究生 聴講生 科目等履修生 留年者
1年間
1,000円

<大学院生>

所属 学年	文 法 経済理 医(医科学・保健学) 工 薬(創成) 基礎工 言語文化 国際公共 情報科学	医(医学) 歯 薬(医療)	生命機能
前期(修士)1年生	1,750円 / 2年間分		
前期(修士)2年生	1,000円 / 1年間分		
後期(博士)1年生	2,600円 / 3年間分	3,300円 / 4年間	4,050円 / 5年間
後期(博士)2年生	1,750円 / 2年間分	2,600円 / 3年間	3,300円 / 4年間
後期(博士)3年生	1,000円 / 1年間分	1,750円 / 2年間	2,600円 / 3年間
後期(博士)4年生		1,000円 / 1年間	1,750円 / 2年間
後期(博士)5年生			1,000円 / 1年間

保険期間 ※大阪大学に学籍があることが前提です。

4月入学生	4月1日～所定卒業(修了)年次の3月31日
10月入学生	10月1日～所定卒業(修了)年次の9月30日

《事故の通知》

保険事故が発生したときは、ただちに事故の日時・場所・状況・傷害の程度を東京海上日動火災保険株式会社(東京海上)に事故通知ハガキにより通知する必要があります。事故の日から30日以内に通知のない場合は保険金が支払われないことがあります。事故通知ハガキは大学生協の保険窓口にて渡しますので、保険事故が発生したら速やかに大学生協の保険窓口に来てください。ハガキは大学生協の保険窓口から保険会社に送付します。

《保険金の請求》

保険金請求の際は、請求に必要な下記の書類を大学生協の保険窓口にて渡します。治療完了後に記入・作成のうえ、大学生協の保険窓口にて提出してください。

① 保険金請求書(兼事故証明書)

② 医師の診断書 ただし、請求金額が10万円以下で後遺障害がない場合には、所定の治療状況報告書用紙を記入し、通院日の分かる領収書等を添えて提出すれば、医師の診断書を提出する必要はありません。

《保険金の支払い》

大学生協の保険窓口が請求書類をとりまとめて東京海上に送付し、書類が東京海上に届いてから原則として30日以内に保険金が指定の口座に振り込まれます。

学生の保険について

なお、次のような場合は、速やかに大学生協の保険窓口へ届け出てください。

- ① 事故に遭ったとき
- ② 学部又は学科を変更したとき
- ③ 留年又は休学したとき
- ④ 退学するとき
- ⑤ 氏名を変更したとき

■ 学生教育研究賠償責任保険(学研賠)^{がっけんばい}

この賠償責任保険は、学生が、正課中、学校行事中やインターンシップ・介護体験活動・教育実習・保育実習及びその往復途中で、他人にケガをさせたり、他人の財物を損壊したりしたことにより被る法律上支払わなければならない損害賠償金を、てん補限度額の範囲内で補償します。但し、臨床・看護実習、課外活動中の事故は対象外となります。

「学研災」に加入していることが「学研賠」の加入条件です。加入希望者は、大学生協の保険窓口にて必要書類を受け取ってください。

なお、本学では、Aコースにのみ加入することができます。Bコース(インターン賠)、Cコース(医学賠)へは加入できません。

保険料と補償内容

保険料	340円(1年間)×卒業までの年数	
保険期間	4月入学生	10月入学生
	4月1日～卒業年3月31日	10月1日～卒業年9月30日
補償内容	対人賠償と対物賠償合わせて 1事故につき1億円限度(免責金額0円)	
加入条件	学生教育研究災害傷害保険(学研災)に加入している学生に限ります (本賠償責任保険単独の加入はできません。)	

■ 学研災付帯学生生活総合保険(付帯学総)^{ふたいがくそう}

この保険は、前述「学生教育研究災害傷害保険(学研災)」の補償内容を拡大し、けがや病気等の治療実費の支払い、賠償事故など、学生生活をより広くカバーした保険です。

「学研災」に加入していることが「付帯学総」の加入条件です。

補償内容、契約タイプ及び保険料の詳細については、各学生センターにてパンフレットを渡しますので、そちらを参照してください。

■ 学生総合共済／学生賠償責任保険

大学生協の組合員が任意で加入できる「全国の学生どうしのたすけあい制度」です。教職課程やインターンシップでの補償もカバーしています。加入／給付申請手続きは、各キャンパスの生協窓口にお越しください。

学内及び近隣の医療機関連絡先

1. キャンパスライフ健康支援センター

本室(豊中)	内線電話番号(6038)	06-6850-6038(直通)
吹田分室	”(8970)	06-6879-8970(直通)
箕面分室	”(5151)	072-730-5151(直通)

2. 本学附属病院

医学部附属病院(時間内)総合診療外来 06-6879-5301(直通)

ただし、診療内容等詳細な打合せが必要な場合は、各科に問い合わせること。

医学部附属病院救命救急センター 06-6879-5707・5690

ただし、重傷の場合(必ず前もって電話すること)

歯学部附属病院(時間内)医事係 06-6879-2844(直通)

3. 時間外の対応

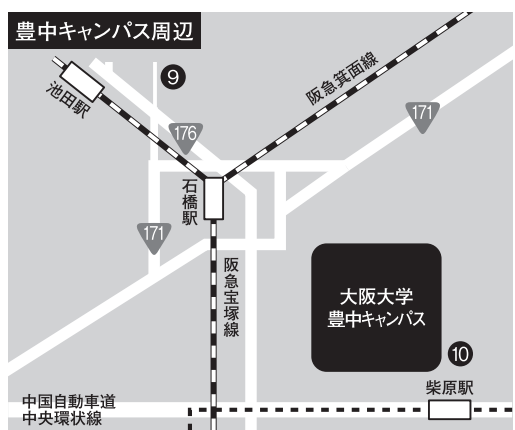
キャンパスライフ健康支援センター対応時間外の場合、以下をご参照ください。

※受診時間、休診等は、各病院のホームページや電話で確認の上、受診して下さい。

豊中キャンパス周辺



- | | | |
|-------------------------|------------|----------------|
| ①三島眼科 | 眼科 | 072-761-1006 |
| ②勝田クリニック | 心療内科、神経科 | 072-760-2626 |
| ③山田内科 | 内科 | 06-6857-6331 |
| ④まるおか歯科クリニック | 歯科 | 072-762-6480 |
| ⑤桑田歯科医院 | 歯科 | 072-761-2171 |
| ⑥いそがい整形外科クリニック | 整形外科、リウマチ科 | 072-760-5000 労 |
| ⑦みしま眼科 | 眼科 | 072-761-5861 |
| ⑧巽病院(休日夜間救急対応可、但し事前連絡要) | | 労 |



- | | | |
|---------|---------------------|---|
| ⑨市立池田病院 | (休日夜間救急対応可、但し事前連絡要) | 労 |
| ⑩市立豊中病院 | | 労 |

労 労災指定病院

学内及び近隣の医療機関連絡先

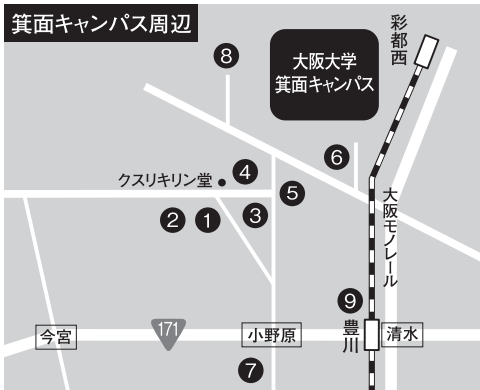
吹田キャンパス周辺



- | | | | |
|----------------|--------------|--------------|---|
| ①北千里医療ビル | | | |
| 3F なかむら内科 | 循環器科、神経内科 | 06-6873-7751 | |
| 板垣眼科医院 | 眼科 | 06-6873-6411 | 労 |
| 北島皮フ科クリニック | 皮膚科 | 06-6873-6055 | |
| 森岡歯科 | 歯科 | 06-6873-6480 | |
| 4F 滝本耳鼻咽喉科 | 耳鼻咽喉科 | 06-6831-5564 | |
| なりたクリニック | 整形外科、リウマチ科 | 06-6873-5551 | 労 |
| くろだクリニック | 泌尿器科 | 06-6836-6025 | |
| ふじた歯科 | 歯科 | 06-6873-5777 | 労 |
| 5F ほそいがくこども診療所 | 小児科 | 06-6155-0255 | |
| 坂元クリニック | 心療内科、神経科 | 06-6836-1175 | |
| 上田クリニック | 胃腸科、外科、肛門科 | 06-6873-7510 | |
| 林田レディースクリニック | 婦人科 | 06-4863-5773 | |
| ②小川・貴島診療所 | 精神科・神経科・心療内科 | 06-6836-6007 | |
| ③なかむかいクリニック | 精神科・神経科・心療内科 | 072-621-2194 | |
| ④渡辺クリニック | 精神科・神経科・心療内科 | 072-627-9876 | |
| ⑤小寺クリニック | 精神科・神経科・心療内科 | 06-6872-3151 | |
| ⑥大阪大学医学部附属病院 | | | 労 |
| ⑦茨木医誠会病院 | | | 労 |
| ⑧大阪府済生会千里病院 | | | 労 |
| ⑨市立吹田市民病院 | | | 労 |
- (休日夜間救急対応可、但し事前連絡要)

箕面キャンパス周辺・他

箕面キャンパス周辺



- | | | |
|------------|------------------------------|-----------------------|
| ① 荒木医院 | 内科・胃腸科・小児科 | 072-729-6563 |
| ② 水野眼科 | 眼科 | 072-727-6361 |
| ③ おざわクリニック | 胃腸科・内科・外科 | 072-730-0721 |
| ④ 加茂野歯科 | 歯科 | 072-730-0039 |
| ⑤ くさかクリニック | 内科・皮膚科・循環器科 | 072-749-3717 労 |
| ⑥ みほクリニック | 小児科・アレルギー科 | 072-726-0909 |
| ⑦ 渡辺クリニック | 皮膚科・整形外科 | 072-727-5656 労 |
| ⑧ ガラシア病院 | 総合病院 | 072-729-2345 労 |
| ⑨ 友絃会総合病院 | (休日夜間救急対応可、但し事前連絡要) 労 | |

阪急箕面駅周辺



- | | | |
|-----------------|------------------------------|--------------|
| ⑩ 印どうメディカルクリニック | 内科・皮膚科・外科・整形 | 072-724-2824 |
| ⑪ 宮崎クリニック | 耳鼻咽喉科 | 072-721-2627 |
| ⑫ 田中メンタルクリニック | 精神科・神経科・心療内科 | 072-720-2780 |
| ⑬ 箕面市立病院 | (休日夜間救急対応可、但し事前連絡要) 労 | |

事故連絡票を安全衛生管理部 に送ってください！

大阪大学が行う事故再発防止対策

安全衛生管理部では学内で起きた事故事例を収集しています。収集した情報は、どこで、どのような状況で事故が起きるのかを解析することで、再発防止策を検討する材料とし、全学にフィードバックしています。また、この情報は統計・分析などの学術研究にも活用し、様々な視点から事故の分析を行う材料としています。



提出にご協力を！

- ・事故が起きたら
- ・ヒヤリとすることが起きたら
- ・他の研究室でも役立つ情報だな、と思ったら

事故連絡票のフォーマットは
阪大ホームページ

- (学部・大学院・施設のページ)安全衛生管理部
 - 学内専用ページへ
- からダウンロードできます(学内限定)

発生内容 被害状況
対応情報 状況図(写真等)



事故発生時の連絡票

作成者氏名： _____

所属・学年（職名）： _____

連絡先（内線等）： _____

- ①事故の規模、人的被害の有無、被害の大小に関わらず、本連絡票をお送りください。
 同じ事故について複数の人が連絡票をお送りいただいて差し支えありません。
- ②危機的事案、警察や消防に通報した事案、被害が大きい／拡大しつつある事案については、事態を認識後、すみやかに電話にて安全衛生管理部へ一報を入れてください。（下記の連絡先電話番号、夜間等は携帯電話（090-6826-2804）に電話する。安全衛生管理部に一報を入れるかどうか迷ったら念のため電話してください）
 危機的事案とは……死者・重傷者が発生している事故、法律により届出や報告が義務付けられている事故（放射性物質の漏洩など）などを指す。

【連絡先・送付先】 TEL：06-6879-4023（内線：吹田4023（171-4023））
 FAX：06-6879-4024（内線：吹田4024（171-4024））
 E-mail：anzen@m1.office.osaka-u.ac.jp

- ③ヒヤリ・ハット（災害や事故には至らないが直結してもおかしくない一歩手前の事例）についても情報提供をお願いします。
- ④不明な点などあれば、安全衛生管理部（上記連絡先）にお問い合わせください。

発生日時／発見日時：西暦／平成 年 月 日（ 曜日） 時 分頃

発生場所（棟名・階・室名など）： _____

被災者／当事者の氏名： _____ 年齢： _____ 性別： _____

所属・学年（職名）： _____

連絡先（内線／電子メール／電話番号など）： _____

発生内容（どのような活動中であつたかも記入する（例：〇〇の授業中、〇〇の部活中、〇〇の実験中、通学の途中など））	
被害状況（人的被害と物的被害とが分かるように記入する）	発生状況図（ポンチ絵、写真などでも可）
対応状況（直後の対応の他、現時点で講じた再発防止策があれば記入する）	

※本様式（Word ファイル）は安全衛生管理部の学内専用ウェブサイトからダウンロードすることができます。

※本様式では記入が難しい場合や、スペースが足りない場合は、適宜、様式を改変したりページを追加してください。

地下水汚染未然防止のための管理要領

【吹田市域・特定施設等取扱者用】研究室用】

本学での化学薬品を含む液体の取扱い等について、管理要領を以下のとおり定める。

N 特定施設等の適切な管理について

- ・ 特定施設等の設置、変更、廃止及び薬品等の変更をする場合は、事前に部局担当係に連絡すること。
- ・ 特定施設等の本体に亀裂及び損傷等の異常がないことを確認すること。
- ・ 特定施設等の本体に届出済みのステッカーが貼付されていることを確認すること。
- ・ ステッカーが貼付されていない特定施設等がある場合は、部局担当係に連絡すること。

O 化学薬品を含む液体の保管、保管場所からの運搬及び実験等での取扱いについて

- ・ 化学薬品は、大阪大学薬品管理支援システム（OCCS）に登録すること。
- ・ 保管場所は、容器の転倒等により床下へ浸透しない材質・強度を有する構造の場所とすること。
- ・ 化学薬品の保管場所は、関係者以外立入禁止にするか、屋外に設置する場合には施錠すること。
- ・ 保管庫に亀裂、損傷、錆等の異常がないことを確認すること。
- ・ 保管庫の転倒防止措置を行うこと。また、保管庫内は容器の転倒防止措置を行うこと。
- ・ 保管庫内に化学薬品の漏洩等がないことを確認すること。
- ・ 化学薬品の小分け作業は、受け皿内で行う等、飛散及び流出を防止すること。
- ・ 化学薬品の取扱い時には、十分な作業スペースを確保すること。
- ・ 液体や廃液の運搬及び実験時には、飛散及び流出した場合に備え、吸着剤やウエス等を常備すること。
- ・ 廃液は適切に分類し回収すること。
- ・ 廃液の取扱いは、受け皿内で行う等、飛散及び流出を防止すること。
- ・ 廃液回収時は、容器から漏れないことを確認し、搬出すること。

P 化学薬品を取扱った器具類の洗浄について

- ・ 化学薬品を含む液体は、回収すること。
- ・ 抽出作業を行った時には、水相及び化学薬品を含む廃液を回収すること。
- ・ 定められた前処理方法に従い、排水が流れ出ない場所で洗浄すること。
- ・ 化学薬品が付着した実験器具等の2次洗浄水までは、廃液として回収すること。
- ・ 流し等には、定められた前処理方法に従って洗浄した後の洗浄水のみ流すこと。

④ 化学薬品を含む液体を使用する機器類について

- ・ 機器類の動作に異常がないことを確認すること。
- ・ 機器類の配管等付帯設備に異常がないことを確認すること。
- ・ 化学薬品を含む液体の補給は適正に行い、受け皿内で行う等、飛散及び流出を防止すること。

⑤ 化学薬品を含む液体の飛散及び流出時の措置について（廃液運搬時を含む）

- ・ 飛散及び流出を止める措置を行うこと。
- ・ 飛散及び流出した液体を可能な限り回収すること。
- ・ 多量に床面等に流出した場合や地下へ浸透させた場合は、直ちに応急措置を講じ、状況及び講じた措置の概要等を速やかに部局担当係に報告すること。
（各市担当課等への報告は、部局担当係から連絡を受けた施設部が行う。）
- ・ 天井の排水管からの漏洩が確認された場合は、直ちに応急措置を講じ、状況及び講じた措置の概要等を速やかに部局担当係に報告すること。

S 管理要領に沿った各作業の実施確認等について

- ・ 本管理要領に沿った確認等は、毎年6月（環境月間）に別紙の点検表に基づいて行うこと。なお、部局担当係から提出依頼があるので、その時に点検表を提出すること。
- ・ 本管理要領を、化学薬品を取扱う関係者に周知すること。

有害物質使用特定（洗浄）施設での洗浄前処理方法

2015.4.1

1. 大阪大学の有害物質使用特定(洗浄)施設を対象とする。
2. それぞれの有害物質については、廃液を容器に回収後、下記の洗浄前処理方法に基づき処理を行うこと。
3. 有害物質使用特定(洗浄)施設には、洗浄前処理完了後の洗浄水のみが放流できる。

対象有害物質	洗浄前処理方法*	廃液処理	注意点、特に注意すべき物質
1 カドミウム及びその化合物	水50mL以上で2回濯ぐ	廃液及び2回目までの洗浄水とも容器に回収し、廃棄物業者引き取りとする。	borate buffer
4 鉛及びその化合物			boric acid
5 六価クロム化合物			NaBH ₄
6 砒素及びその化合物			Me ₂ AsO ₂ Na (カコジル酸ナトリウム)
7 水銀及びその他の水銀化合物			EtHgSC ₆ H ₄ CO ₂ Na (チメロサル)
24 セレン及びその化合物			NaF, KF
25 ほう素及びその化合物			NH ₄ F
26 ぶっ素及びその化合物			HF
2 シアン化合物	水50mL以上で2回濯ぐ	廃液及び2回目までの洗浄水とも容器に回収し、廃棄物業者引き取りとする。	
3 有機燐化合物	アセトン50mL以上で1回濯いだ後、水50mL以上で2回濯ぐ	廃液、アセトン及び2回目までの洗浄水とも容器に回収し、廃棄物業者引き取りとする。	有機燐化合物とは、パラチオン、メチルパラチオン、メチルジメトン、EPNの4物質を指す。
20 チウラム			
21 シマジン			
22 チオベンカルブ			
8 アルキル水銀及びその他の水銀化合物	水50mL以上で2回濯ぐ	廃液及び2回目までの洗浄水とも容器に回収し、廃棄物業者引き取りとする。	
9 ポリ塩化ビフェニル (PCB)	アセトン50mL以上で1回濯いだ後、水50mL以上で2回濯ぐ	廃液、アセトン及び2回目までの洗浄水とも容器に回収し、廃棄物業者引き取りとする。	
28 アンモニア、アンモニウム化合物	水50mL以上で2回濯ぐ	廃液及び2回目までの洗浄水とも容器に回収し、廃棄物業者引き取りとする。	NH ₃ , NH ₄ Cl, (NH ₄) ₂ SO ₄ , 酢酸アセチル
亜硝酸化合物			NaNO ₂
硝酸化合物			HNO ₃ (中和後も不可)
29 塩化ビニルモノマー	アセトン50mL以上で1回濯いだ後、水50mL以上で2回濯ぐ	廃液、アセトン及び2回目までの洗浄水とも容器に回収し、廃棄物業者引き取りとする。	
10 トリクロロエチレン	アセトン50mL以上で1回濯いだ後、水50mL以上で2回濯ぐ	廃液、アセトン及び2回目までの洗浄水とも容器に回収し、廃棄物業者引き取りとする。	CH ₂ Cl ₂ , 1,4-dioxane, 1,2-dichloroethane などのように水溶性が高い物質に特に注意する。 また、抽出時の水相は必ず回収する。
11 テトラクロロエチレン			
12 ジクロロメタン			
13 四塩化炭素			
14 1,2-ジクロロエタン			
15 1,1-ジクロロエチレン			
16 1,2-ジクロロエチレン			
17 1,1,1-トリクロロエタン			
18 1,1,2-トリクロロエタン			
19 1,3-ジクロロプロペン			
23 ベンゼン			
27 1,4-ジオキサン			

1.ここに記載されていない化学薬品を含む液体については、可溶性溶媒(水等)で2回以上濯ぎ、廃液及び濯いだ溶媒は廃棄物業者引き取りとすること。

2.対象有害物質に付記されている番号は、大阪大学で任意に付けた番号である。

☐ : 注意を要する物質。

*1Lの容器を用いた場合。

地下水汚染未然防止のための管理要領に係る点検表

令和元年12月改訂

特定施設等取扱者用（研究室用）

吹田市域用

部 局 名	
-------	--

根拠法：水質汚濁防止法

点 検 日 _____ 年 _____ 月 _____ 日

点検表実施の確認			
担当係		特定施設等取扱者 (研究室)	
係長	担当者	責任者	点検者

部 屋 番 号 (複 数 可) _____

特 定 施 設 番 号 (複 数 可) _____

研 究 室 名 ・ 講 座 名 等 _____

責 任 者 氏 名 _____

点 検 者 氏 名 _____

区 分	No.	確認内容	点検結果	コメント
床面及び周囲	1	床面(実験用流し台等の下及び周囲)に、亀裂、損傷等の異常がないか？		
	2	化学薬品を含む液体が、床面に飛散・流出していないか？		
	3	化学薬品の飛散・流出に備えて吸着剤やウエス等が常備してあるか？		
特定施設等	4	特定施設等の本体に排水が床面に流出するような亀裂、損傷等がないか？		
	5	特定施設等の本体に届出済みのステッカーが貼付されているか？		
	6	未届の特定施設等はないか？		
保管庫	7	保管庫に亀裂、損傷、錆等の異常がないか？		
	8	保管庫内に化学薬品の漏洩等がないか？		
	9	保管庫周辺の床面に、化学薬品が飛散・流出していないか？		
	10	保管庫は転倒防止、保管庫内には容器の転倒防止策を講じているか？		
	11	保管場所は関係者以外立入禁止にするか、屋外に設置する場合には施錠しているか？		
	12	化学薬品の保管量は適正か？		
化学薬品を取扱う機器類	13	機器類の動作に異常がないか？		
	14	機器類の排水管等付帯設備に異常がないか？		
	15	化学薬品を含む液体の補給は適正に行い、受け皿等で飛散・流出を防止しているか？		
作業時	16	化学薬品取扱時には、十分な作業スペースを確保しているか？		
	17	化学薬品の小分け作業は、受け皿内で行う等、飛散・流出を防止しているか？		
	18	化学薬品を含む液体を回収しているか？		
	19	抽出を行った時には、水相及び化学薬品を含む廃液を回収しているか？		
	20	化学薬品が付着した実験器具等の2次洗浄水までを、廃液として回収しているか？		
	21	定められた前処理方法に従い、排水が流れ出ない場所で洗浄しているか？		
	22	流し等には、定められた前処理方法に従って洗浄した後の洗浄水のみ流しているか？		
	23	廃液は適切に分類し回収しているか？		
	24	廃液の取扱いは、受け皿内で行う等、飛散・流出を防止しているか？		
	25	廃液の回収時は、容器から漏れないことを確認して搬出しているか？		
飛散、流出時	26	化学薬品の飛散及び流出時には、吸着剤やウエス等で直ちにふき取り回収ができるか？		
	27	化学薬品を拭取った吸着剤やウエス等は、洗浄や再利用はせず、適正に処分しているか？		
その他	28	化学薬品を、大阪大学薬品管理支援システム(OCCS)に登録しているか？		
	29	管理要領を、部屋の使用者全員に周知しているか？		

注1) 点検後は、この点検表を担当係へ送付ください。
 注2) 点検結果には、「○」(良)又は「×」(否)で記入してください。
 注3) コメント欄には、「未届の特定施設があった(No.3)」「改めて教育を実施した(No.21)」など改善、変更、その他気の付いたことを記入してください。
 注4) 連絡欄には、コメント欄に記載した詳細な内容や、担当係に対する連絡事項を記入してください。

連 絡 欄			
月日	研究室(記入者)側	月日	担当係
/		/	

吹田キャンパス

[設置場所一覧]

平成 28 年 7 月 22 日現在

建物名		設置場所詳細
1	理工学図書館	西館1階玄関
2	生命科学図書館	1階玄関
3	人間科学研究科	本館1階玄関
4	人間科学研究科	東館1階玄関
5	医学系研究科(医学専攻)	基礎研究棟L階受付
6	医学系研究科(医学専攻)	附属動物実験施設1階玄関
7	医学系研究科(銀杏会館)	2階エレベータホール
8	医学系研究科(保健学専攻)	2階事務室前通路
9	最先端医療イノベーションセンター	1階玄関
10	医学部附属病院	1階エスカレーター横 他20カ所
11	歯学研究科	D棟4階エレベータホール前
12	歯学研究科・歯学部附属病院	D棟1階玄関 他6カ所
13	薬学研究科	1号館1階玄関
14	工学研究科	管理棟1階守衛室付近(U1M)
15	工学研究科	M1棟225号室前廊下
16	工学研究科	U1E棟1階ラウンジ中央
17	工学研究科	E3棟1階玄関
18	超高圧電子顕微鏡センター	電子顕微鏡室玄関付近
19	環境安全研究管理センター	1階玄関
20	低温センター(吹田分室)	共同利用実験室前廊下
21	ラジオアイソトープ総合センター	本棟1階玄関
22	生物工学国際交流センター	α棟1階玄関
23	吹田福利厚生棟(センテラス)	食堂「吹田DonDon」玄関
24	産業科学研究所	管理棟玄関
25	産業科学研究所	第2研究棟-ナノテク棟間
26	蛋白質研究所	本館1階玄関
27	情報科学研究科	情報科学A棟1階玄関
28	生命機能研究科	ナノバイオロジ-棟1階玄関
29	微生物病研究所	本館1階玄関
30	社会経済研究所	1階玄関
31	接合科学研究所	スマートプロセス研究センター1号館 1階玄関ホール
32	キャンパスライフ健康支援センター(吹田分室)	1階玄関
33	レーザーエネルギー学研究センター	研究棟(1棟)玄関
34	産学連携本部	A棟1階玄関
35	核物理研究センター	AVFサイクロトロン棟1階玄関
36	核物理研究センター	本館1階玄関
37	サイバーメディアセンター	吹田本館1階玄関
38	免疫学フロンティア研究センター	1階受付
39	本部事務機構	1階玄関
40	コンベンションセンター	1階玄関・エレベータ横
41	たけのこ保育園	保健室内
42	まさば保育園	事務室内
43	体育館	1階玄関女子トイレ前/1階管理人室
44	本部前福利会館	2階食堂
45	ICホール	1階吹田学生センター
46	あおぞら保育園	事務室内
47	テクノアライアンス棟	1階アライアンスホール
48	工学研究科	F1棟エントランスホール
49	核物理研究センター(共同研究員宿泊施設)	1階玄関

[設置場所マップ]



※最新の情報は

http://www.osaka-u.ac.jp/jp/facilities/anzen/aed/suita/aed_suita.htmlよりご確認ください。

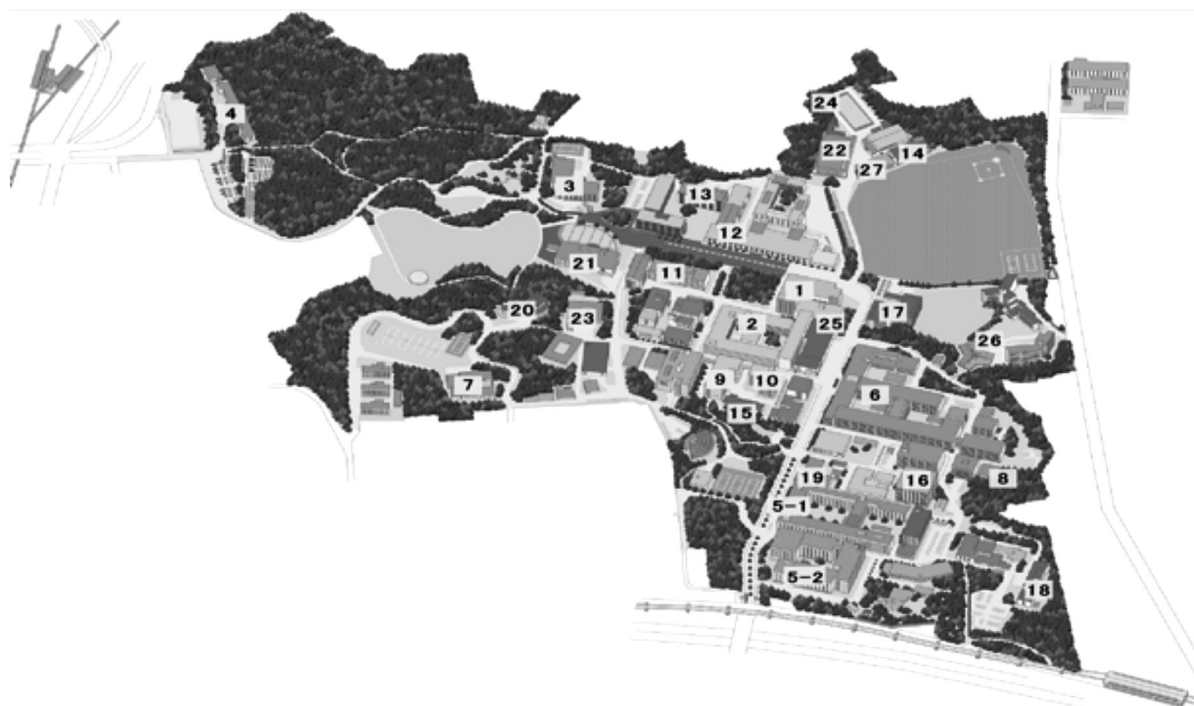
豊中キャンパス

[設置場所一覧]

平成 28 年 7 月 22 日現在

	建物名	設置場所詳細
1	総合図書館	A棟2階玄関
2	文学研究科	玄関
3	大阪学会館	玄関
4	総合学術博物館	1階カフェ「坂」ホール内
5-1	理学研究科	A棟1階正面玄関(公衆電話付近)
5-2	理学研究科	F棟1階玄関ホール
6	基礎工学研究科	C棟1階エレベータ横
7	極限科学センター	玄関
8	太陽エネルギー化学研究センター	玄関 左側
9	法経研究棟	1階玄関
10	OSIPP 棟	1階
11	言語文化研究科	1階玄関
12	全学教育推進機構	管理・講義A棟1階玄関
13	COデザイン・センター	全学教育総合棟I4階 中央階段付近
14	健康体育研究棟	1階玄関
15	キャンパスライフ健康支援センター	玄関
16	文理融合型研究棟	1階エントランスホール
17	サイバーメディアセンター	豊中教育研究棟1階玄関
18	ラジオアイソトープ総合センター (豊中分室)	本棟2階玄関
19	低温センター	ヘリウム液化室
20	待兼山会館	1階ラウンジ
21	学生交流棟	1階レストラン「宙」玄関
22	体育館	1階柔道場入口前近く/2階体育館玄関
23	学生会館	3階
24	プール	プール器具庫
25	総合図書館下食堂	食堂内
26	まちかね保育園	保健室内
27	多目的倉庫	1階体育館側入口

[設置場所マップ]



※最新の情報は

http://www.osaka-u.ac.jp/facilities/anzen/aed/toyonaka/aed_toyonaka.html よりご確認ください。

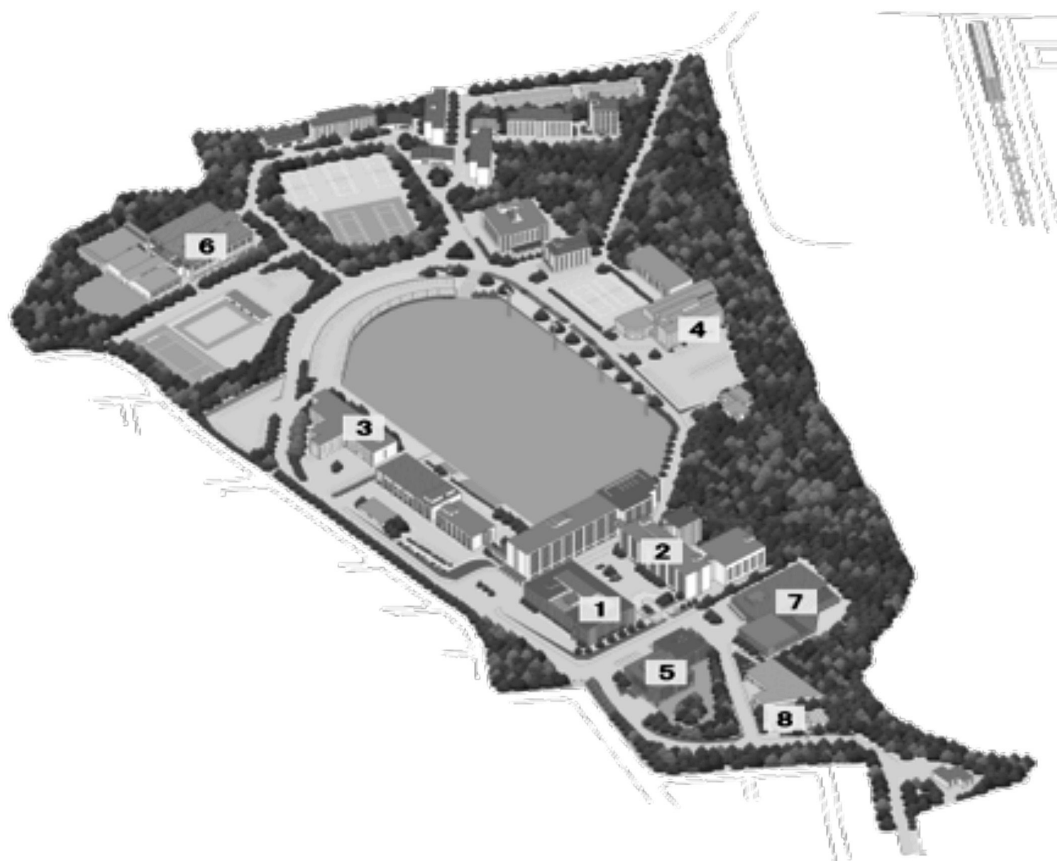
箕面キャンパス

[設置場所一覧]

平成 28 年 4 月 4 日現在

	建物名	設置場所詳細
1	外国語学図書館	1階玄関
2	研究講義棟A棟	研究講義棟B棟側1階玄関
3	研究講義棟E棟	1階玄関 ホール
4	日本語日本文化教育センター	エレベーターホール前
5	キャンパスライフ健康支援センター (箕面分室)	管理棟1階玄関
6	第1体育館	玄関
7	箕面福利会館	1階玄関エレベーター横
8	守衛室 ※24時間貸出可能(電話072-730-5029)	ホワイトボード前

[設置場所マップ]



※最新の情報は

http://www.osaka-u.ac.jp/facilities/anzen/aed/mino/aed_mino.html よりご確認ください。

その他(キャンパス外)

[設置場所一覧]

平成 28 年 4 月 1 日現在

	建物名	設置場所詳細
1	中之島センター	1階玄関(事務室前)
2	適塾記念センター	玄関
3	守口艇庫	1階玄関
4	西宮艇庫	2階デッキ
5	大阪大学春日丘ハウス	1階玄関

※最新の情報は

http://www.osaka-u.ac.jp/facilities/anzen/aed/other/aed_other.html よりご確認ください。

参考文献

- 01 日本化学会編「化学実験の安全指針」(第4版) 丸善(1999)
- 02 日本化学会編「第4版実験化学講座第2巻(基本操作Ⅱ)」 丸善(1990)
- 03 日本化学会編「化学防災指針集成」(Ⅰ:物質編,Ⅱ:データ・取扱編) 丸善(1996)
- 04 日本化学会編「化学安全ガイド」 丸善(1999)
- 05 日本化学会編「化学便覧・応用化学編」(第6版) 丸善(2003)
- 06 有機合成化学協会編「工業薬品安全取扱要覧」 丸善(1954)
- 07 H.A.J.Pieters 著 奥田重喜訳「化学実験室の災害防止」 三共出版(1962)
- 08 化学同人編集部編「実験を安全に行うために」(第7版) 化学同人(2006)
- 09 化学同人編集部編「続・実験を安全に行うために」(第3版) 化学同人(2007)
- 10 安全工学協会編「新安全工学便覧」 コロナ社(1999)
- 11 小島圭二他編「廃棄物処分・環境安全用語辞典」 丸善(2000)
- 12 東京化成工業(株)編「取り扱い注意試薬ラボガイド」 講談社(1988)
- 13 後藤俊雄、芝哲夫、松浦輝男監修「有機化学実験のてびき(1)」 化学同人(1988)
- 14 R.J.Lewis,Sr.,R.L.Tatken 共編
「Registry of Toxic Effects of Chemical Substances」 NIOSH
- 15 R.E.Lenga 編 「The Sigma-Aldrich Library of Chemical Safety Data」 Sigma-Aldrich(1985)
- 16 N.I.Sax 著 藤原鎮男監訳「ザックス有害物質データブック」 丸善(1990)
- 17 OECD 化学品テストガイドライン
<http://www.nihs.go.jp/hse/chem-info/ocdindex.html>
- 18 動物の愛護及び管理に関する法律(動物愛護法)
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S48/S48HO105.html>
- 19 実験動物の飼養及び保管並びに苦痛の軽減に関する基準
http://www.env.go.jp/nature/dobutsu/aigo/2_data/nt_h180428_88.html
- 20 研究機関等における動物実験等の実施に関する基本指針
http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/nc/06060904.htm
- 21 動物実験の適正な実施に向けたガイドライン
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-k16-2.pdf>
- 22 大阪大学動物実験委員会
<http://www.osaka-u.ac.jp/ja/research/iinkai/animal>

- 23 大阪大学動物実験規程
http://www.osaka-u.ac.jp/jp/about/kitei/reiki_honbun/u035RG00000703.html
- 24 大阪大学病原体等安全管理規程／大阪大学病原体等安全管理マニュアル
(マイハンドイ)
https://my.osaka-u.ac.jp/admin/kensui/pathogen_rules
- 25 青島賢司 災害防止科学 章9 電気エネルギー hazard に対する failsafe
槇書店
- 26 児島健 物性9(1968) 560 実験室での防災Ⅳー強いエネルギーの作用 槇書店
- 27 電気学会 感電の話 1～10章、付録(改訂第6版) 感電と他 電気学会
- 28 田島泰幸 電気学会雑誌 95(1975) 307 電撃災害とその予防 電気学会
- 29 東京消防庁警防部調査課 電気火災(原因と鑑識) 1章 電気火災概論
全国加除法令出版
- 30 坂本 正 改訂 火災防ぎよ論 2篇10節 電気火災防ぎよ 全国加除法令出版
- 31 高分子学会 静電気ハンドブック 3章(改訂第4版) 静電気による火災障害
および防止対策 地人書館
- 32 JohnF.Ready Effects of High Power Lasers Chap.7 Laser Effects on Biological
Systems Academic Press
- 33 消防庁防災救急課 救急処置 7章 ショック 全国加除法令出版
- 34 相原惇一 物性9(1968) 683 実験室での防災Ⅳー災害を受けたら 槇書店
- 35 電気学会 電気工学ハンドブック 1951(1956ー第5版) 22編 配電 電気学会
- 36 電気学会 電気工学ハンドブック 1951(1956ー第5版) 23編 屋内配線
電気学会
- 37 伊藤健一 アースのはなし 日刊工業新聞社(1992)
- 38 近角聡信責任編集 実験物理学講座17『磁気』 共立出版株式会社(1968)
- 39 「物性」編集委員会編「物性」実験技術シリーズⅢ『低温技術』 槇書店(1968)
- 40 電気設備技術基準(昭和57年版) 電気書院
- 41 通産省工業技術院監修、光産業技術振興協会編「レーザー安全ガイドブック」
新技術
- 42 コミュニケーションズ(平成元年)
レーザー学会編「レーザーの安全性」レーザーハンドブック オーム社(1982)
- 43 日本工業規格 レーザー製品の放射安全基準 JISC6802-1991(平成3年5月改正)
- 44 安全衛生ガイドライン(全学共通) 平成21年3月大阪大学安全衛生管理部

安全のための手引 2020

令和2年4月

編集発行 大阪大学安全衛生管理部
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘1番1号