

低温センター 高圧ガス保安教育

【低温講習会】

保 安 技 術 テ キ ス ト

東京大学 低温センター 業務部門

E-mail teion-info@crc.u-tokyo.ac.jp

内線 22853

URL <http://www.crc.u-tokyo.ac.jp/>

目 次

0	単位について	2
1	高圧ガス保安法と低温センター	2
1.1	高圧ガス保安法の目的	2
1.2	高圧ガスの定義	3
1.3	高圧ガスの分類	3
1.4	高圧ガスの製造、貯蔵、消費	4
1.4.1	製造	4
1.4.2	貯蔵	4
1.4.3	消費	5
1.5	高圧ガス保安法と低温センター	5
2	寒剤の性質・・・事故原因と事故防止	6
2.1	性質	6
2.2	事故と防止策	6
2.2.1	凍傷	6
2.2.2	爆発	7
2.2.3	酸欠(窒息)	7
2.2.4	その他	8
3	容器の取扱い	9
3.1	液体窒素容器	9
3.2	液体ヘリウム容器	12
4	参考・・・高圧ガスボンベについて(本郷キャンパス)	14

0 単位について

実験装置などに付属する圧力計の表示には Pa (パスカル)、kgf/cm²、bar などさまざまな種類があるが、この講習会では圧力は SI 単位系の Pa で、温度は摂氏で説明を進めるものとする。なお、後述の高圧ガス保安法の条文は、圧力は Pa (ゲージ圧) で表記されている。

表 1 : 代表的な圧力単位

	Pa	MPa	kgf/cm ²	atm	bar	Torr	psi
1 Pa		1×10 ⁻⁶	1.02×10 ⁻⁵	9.87×10 ⁻⁶	1×10 ⁻⁵	7.50×10 ⁻³	1.45×10 ⁻⁴
1 MPa	1000000		10.2	9.87	10	7.50×10 ³	145
1 kgf/cm ²	98066.5	0.0981		0.968	0.981	736	14.2
1 atm	101325	0.101	1.03		1.01	760	14.7
1 bar	100000	0.1	1.02	0.987		750	14.5
1 Torr	133.322	1.33×10 ⁻⁴	1.36×10 ⁻³	1.32×10 ⁻³	1.33×10 ⁻³		0.0193
1 psi	6894.76	6.90×10 ⁻³	0.0703	0.0680	0.0689	51.7	
別表記	N/m ²				dyn/cm ²	mmHg	lbf/in ²

1 高圧ガス保安法と低温センター

1.1 高圧ガス保安法の目的

高圧ガス保安法は、高圧ガスによる災害を防止するため、高圧ガスのさまざまな取り扱いを規制する法令である(保安法第一条)。大学内で使用する寒剤や高圧ガスポンベの取扱いの中にも規制を受けるものが数多くある。法の目的をよく理解し、事故の防止と公共の安全確保に努めなければならない。

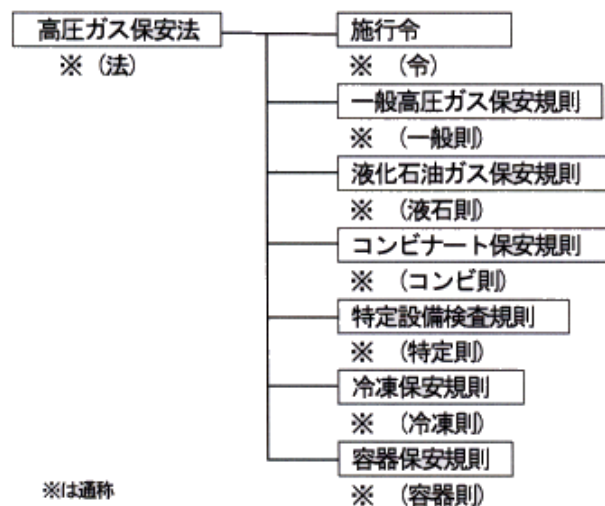


図 1 : 高圧ガス保安法の構造

1.2 高圧ガスの定義

高圧ガス保安法では、以下のガスが「高圧ガス」と定義されている(保安法第二条)。

- 1 圧縮ガスで、温度 35 度において圧力が 1MPa 以上であるもの(アセチレンを除く)
- 2 圧縮アセチレンガスで、温度 35 度において圧力が 0.2MPa 以上であるもの
- 3 液化ガスで、圧力 0.2MPa 以上となる温度が 35 度以下のもの
- 4 上記以外で、特に定められたもの

(液化シアン化水素、液化ブロムメチル、液化酸化エチレン)

液化ガスの圧力は蒸気圧で判断される。液体窒素や液体ヘリウムは、蒸気圧が 0.2MPa を超える温度が、それぞれ、 -189 度付近、 -268 度付近であり、35 度よりはるかに低いので、高圧ガスである。

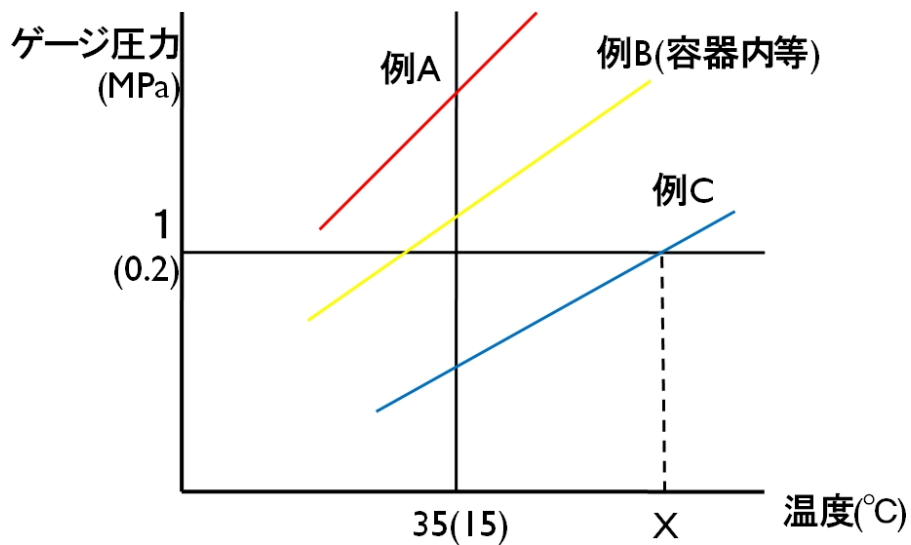


図 2 : 高圧ガスの定義 (圧力はゲージ圧)

1.3 高圧ガスの分類

高圧ガス保安法では、ガスの性質(可燃性・支燃性・不燃性/毒性・非毒性など)によって規制の内容が異なることがある。安全な取り扱いのためにも、取り扱うガスの性質を十分に理解することが重要である。

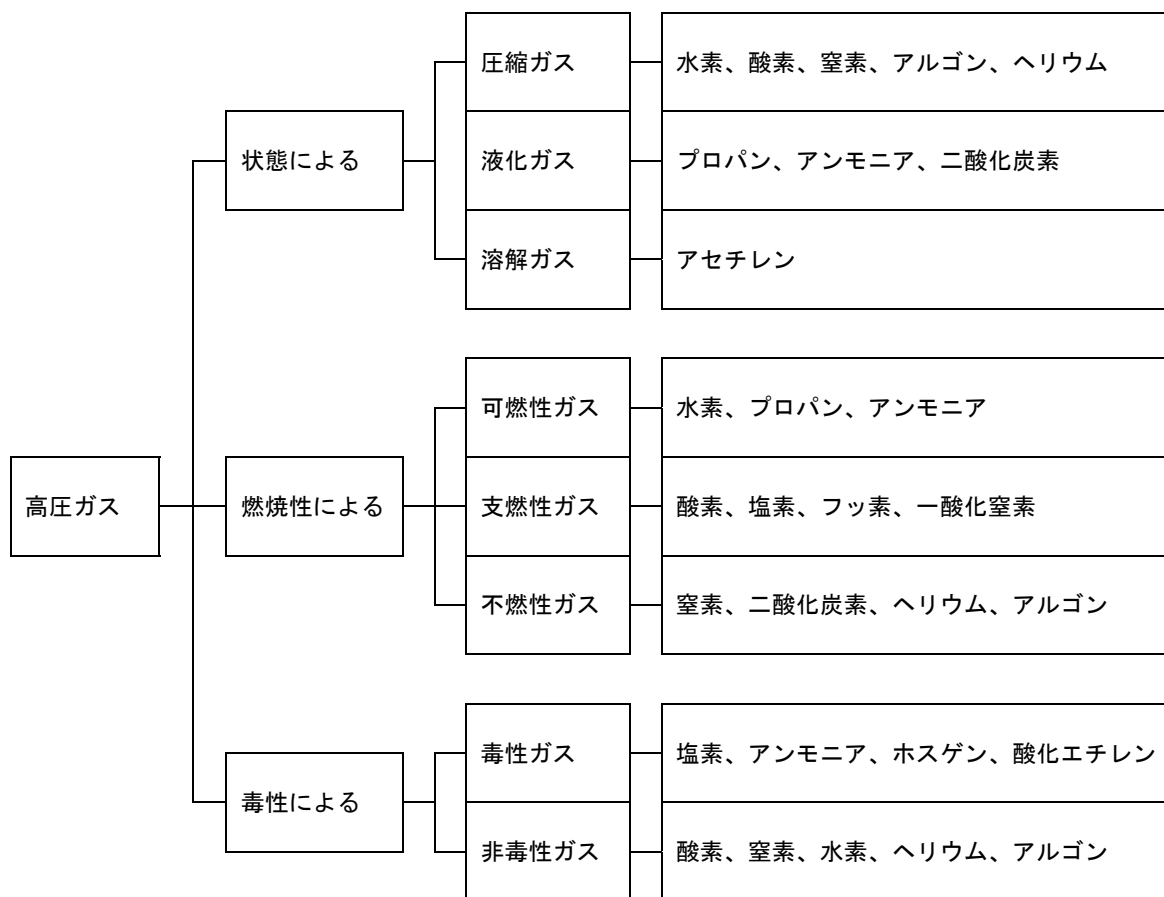


図3：高圧ガスの分類

1.4 高圧ガスの製造、貯蔵、消費

1.4.1 製造

圧縮、液化その他の方法により高圧ガスの状態を人為的に作ることを「高圧ガスの製造」と呼ばれている。

例：減圧弁を用いて、高圧ガスをより圧力の低い高圧ガスにすること

(液化ガスの移送(トランスファー)で、出口側圧力が0.2MPa以上となる場合など)

処理量に応じて監督官庁への申請や届出が必要となる場合があるので、実験装置の構造や工程を十分把握し、高圧ガスの製造に当たる場合はあらかじめ各部局や環境安全本部などと相談すること。

1.4.2 貯蔵

一定の場所に一定量を超えて高圧ガスの状態で置いておくことを「高圧ガスの貯蔵」という。貯蔵量に応じて監督官庁への申請や届出が必要な場合がある。研究室で液体窒素や液体ヘリウムの容器を保管する方法は<3. 容器の取扱い>にまとめる。

例：液体窒素用コールドエバポレータ(CE)

1.4.3 消費

減圧弁などを使って高圧ガスから高圧ガスでない状態へ移行させ、そのガスを使用することが「高圧ガスの消費」と定められている。

例：小分け容器から開放型容器(大気圧)への移送

ガスボンベから減圧弁(レギュレータ)を介して風船にガスを詰める

少量の消費には特に規制はないが、消費の技術上の基準が定められている。また、事前に監督官庁への届出などが必要な場合(*)もある。

(*)特定高圧ガス、特殊高圧ガス

1.5 高圧ガス保安法と低温センター

東京大学低温センターは学内共同利用施設として昭和41年に開設され、翌年から液体ヘリウムの製造・供給ならびに液体窒素の供給を開始した。現在では、研究開発部門による研究活動や学内への共同利用提供と共に、高圧ガス保安法に定められた第一種製造者として液体ヘリウム製造や液体窒素貯蔵を行っている。

第一種製造者には監督官庁による保安検査受検(1年に1回)、危害予防規程の制定と監督官庁への届出、保安教育計画の立案と保安教育実施、定期自主検査や日常点検など多くの義務が課せられている。低温センターでは製造設備・貯蔵設備の維持管理はもちろん、コンプライアンスや自主保安活動などを通じて、液体ヘリウム・液体窒素を安定して供給できるように努めている。

低温センターの保安教育(低温講習会)は、東京大学低温センター危害予防規程に基づき、保安教育の一環として実施するものである。利用者である皆さんとも協力して、今後も安全な研究環境を使えるように努めていきたいと考えている。

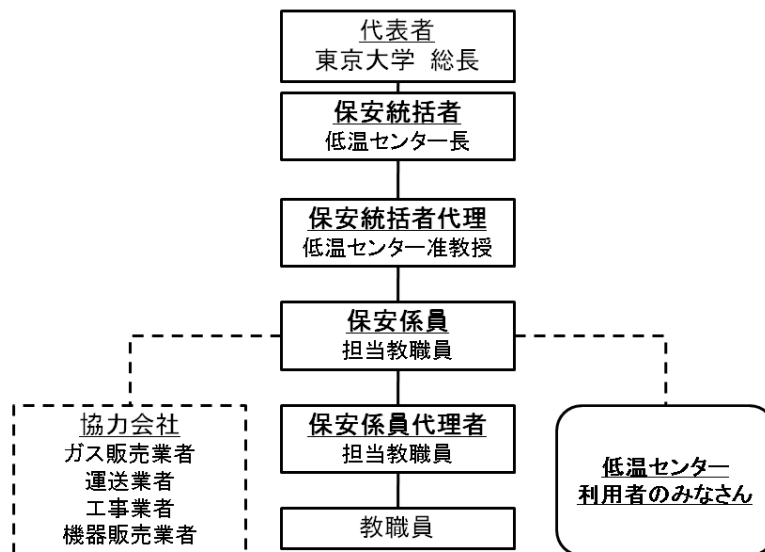


図4：保安管理組織図

2 寒剤の性質・・・事故原因と事故防止

2.1 性質

表2は、代表的な寒剤の物理的・化学的性質をまとめたものである。いずれも温度が低い・液体とガスの体積比が大きい・極めて純度が高いという特徴があり、凍傷・爆発・酸欠(窒息)などの事故につながりやすい。性質をよく理解して取り扱うことが重要である。

表2：主な寒剤の物理的・化学的性質（摂氏0度＝273.15K(ケルビン)）

寒剤の種類	沸点 (K)	分子量	色	臭	味	分類	液体の密度 (kg/L)	気体の比重 (空気=1)
窒素 N ₂	77.3	28	無	無	無	不燃性	0.808	0.967
酸素 O ₂	90.1	32	ライトブルー	無	無	可燃性	1.144	1.105
ヘリウム He	4.2	4	無	無	無	不燃性	0.125	0.138
ネオン Ne	27.1	20	無	無	無	不燃性	1.207	0.696
水素 H ₂	20.3	2	無	無	無	可燃性	0.071	0.069
アルゴン Ar	87.2	40	無	無	無	不燃性	1.374	1.380
空気 Air	78.8	29	ライトブルー	無	無	可燃性	0.874	1.000
二酸化炭素 CO ₂	194.7	44	無	無	無	不燃性	1.030 (-20℃, 1.967MPa)	1.530

2.2 事故と防止策

2.2.1 凍傷

[主な原因]

- (1) 飛散した寒剤に触れる、あるいは噴出した冷気ガスに身体がさらされる
- (2) 濡れた手足で直接寒剤に触れる
- (3) 極低温状態になった金属に触れる
- (4) 寒剤を大量に浴びてしまう

[防止策]

- (1) 濡れた手で寒剤を取り扱わない
手袋は断熱が良く、着脱しやすいものを使用する（軍手や毛糸製は不可）
- (2) ポケットやズボンの折り返しに、液がこぼれて溜まらないように注意する
- (3) ゴーグルを使用する
- (4) 移送にはなるべく金属製パイプを使用し、割れやすい塩ビ・ガラスなどは避ける

[凍傷になってしまったら・・・]

- (1) 身体のごく一部→温水に浸す。ドライヤーは不可。病院へ！
- (2) 全身、または身体の広い範囲→ぬるめの風呂に入れ、早急に病院へ！
- (3) 極低温状態の金属が皮膚にはりついた場合→金属をぬるま湯程度に温め、ゆっくりとはがす。早急に病院へ！
- (4) 寒剤が目に入ったら→清水で洗浄し、早急に病院へ！

2.2.2 爆発

【原因】

- (1) 可燃性寒剤（液化水素など）への引火や静電気などによる爆発
- (2) 高濃度の酸素（液化酸素など）と油脂など有機物との接触による激しい燃焼
- (3) 液化ガス容器の爆発
 - 例：容器の蒸発口が氷で閉塞した
 - 全バルブ閉止で内圧が異常に上がった
 - 断熱性能が急激に低下して蒸発ガスが急激に増え、放出が間に合わなかった
 - 外部からの衝撃などにより容器が壊れた など

【対策】

- (1) 寒剤の近くは火気厳禁（特に可燃性ガス）
- (2) 蒸発ガスは屋外の火気のない安全な場所に放出する
- (3) 容器は、断熱に優れ、内部が十分乾燥したものをを用いる
- (4) 液化酸素を取り扱うときは、油脂類が付着した手袋や衣類を着用しない

2.2.3 酸欠(窒息)

【症状】

酸欠は大きく2種類に分けられる。

- A) 急性酸欠：酸素がほとんど含まれないガスを吸い込み、急激に症状が起こる。
- B) 緩急性酸欠：酸素濃度が少しずつ低下している空気を呼吸することにより、症状がゆっくり現れる。

【特徴】

- (1) 二次災害：煙や刺激臭のない室内に人が倒れていると、何が原因で倒れているのかわからず、慌てて救助に入った人も被害に遭う危険性が高い。
- (2) 判断能力の欠如：酸欠状態の室内に入って頭痛や吐き気、こん睡などの症状が出て、当人が酸欠によってもたらされた症状だと判断できないことがある。
- (3) 酸素濃度が低い場所にさらされる時間が長いほど死亡する確率が高くなる(図5)。二次災害を避けつつも、迅速な対応が必要。

表3：酸素濃度と緩急性酸欠の諸症状

段階	濃度(%)	症 状
0	18前後	(安全下限界。換気、酸素濃度の測定、呼吸保護具の用意。)
1	16～12	脈拍、呼吸数の増加、精神・集中力の低下、単純計算の間違い、頭痛・吐き気・悪心・筋力低下等がある、チアノーゼが現れる、軽い後遺症が残ることもある。
2	14～9	判断力の低下、精神的に不安定になる(イライラする)、ため息の頻発、異常な疲労感、酩酊状態、頭痛・耳鳴り・嘔吐感等がある、痛みを感じない、その時の記憶がなくなる、全身脱力、体温上昇、意識が朦朧となる、階段・梯子から転倒する、チアノーゼがでるなど、かなり危険な状態となる。後遺症が残る。
3	10～6	嘔吐がある、行動の自由を失う、危険を感じても叫んだり動いたりすることができない、虚脱・幻覚・意識喪失となる、チアノーゼがでる、昏倒・中枢神経障害・全身痙攣に陥る。この段階が生と死の境目となるが、たとえ生存しても非常に重い後遺症が残る。
4	6以下	数回の喘ぎ呼吸で昏倒・失神・痙攣・心臓停止になり、多くの場合、死に至る

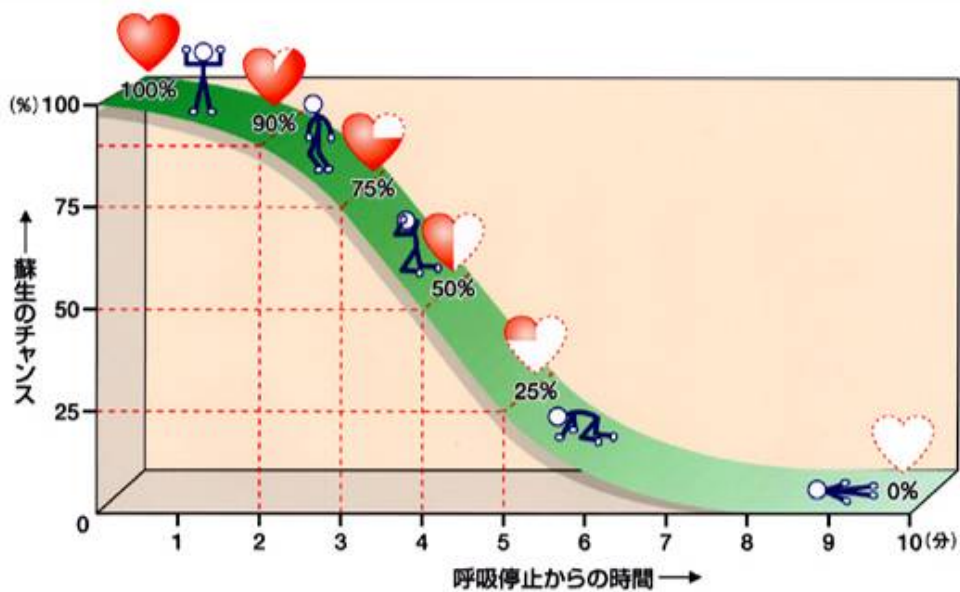


図5：ドリンカーの救命曲線

2.2.4 その他

表3に示した通り、窒素の沸点よりも酸素の沸点の方が高い。このため、広口瓶のような開放型容器に入れた液体窒素を放置しておくと、空気中の酸素が液化され液体窒素の温度が上がったり、瓶の口付近に酸素の濃度が高い状態ができたりする可能性がある。高濃度の酸素は油脂類などに触れると爆発的な燃焼につながる危険があるため使用が終わったら速やかに屋外の安全な場所などへ廃棄するのが望ましい。

3 容器の取扱い

寒剤用の容器にはさまざまな種類があるが、断熱性能を向上させるため衝撃に弱い構造を持つものが多い。事故防止のため、強くぶつけない・倒さないなど、丁寧に扱うことが重要である。

3.1 液体窒素容器

液体窒素容器には、開放型容器と自加圧式容器の二種類がある。



図6：開放型容器(左)と自加圧式容器(右)

(1) 開放型容器

ほとんどが小型容器（内容積が5Lから30L程度）である。比較的軽量なので持ち上げて傾けて液体を取り出すこともできるが、横からの力に弱い構造をしているのでサイフォンなどを使用する方が望ましい。また、液が残った容器は、ネックで水分が凍結してブロックしないよう、専用のふたをして保管する。（ふたは蒸発ガスを適度に逃がせる程度の「あそび」がある大きさとなっている。万が一紛失した場合などは、乾燥したウエス(ぼろ布)を軽くかぶせるなど、密封しないよう、かつ、大気開放を避けるように注意する。）

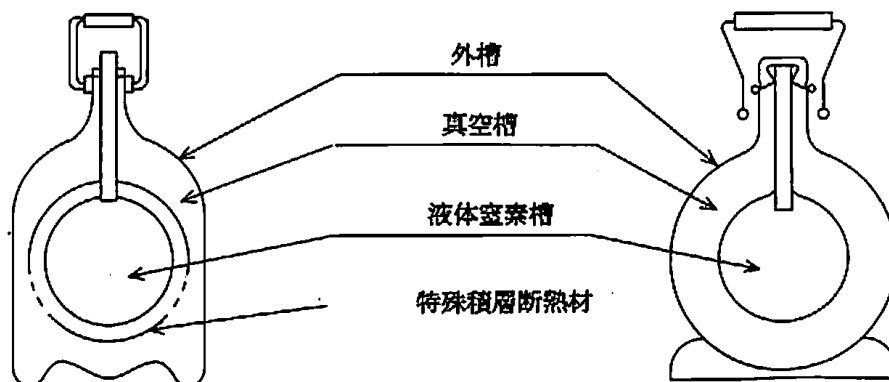


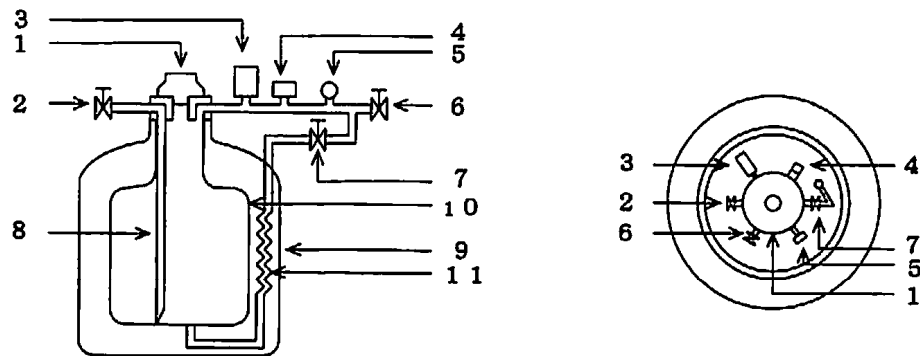
図 7 : 開放型容器の構造

(2) 自加压式容器

液体窒素の一部を気化器で蒸発させることにより容器内圧を上昇させる機能を持つ容器で、50L 以上の大きさが多い。

【使い方・注意事項】

1. ガス放出弁を閉め、液取り出し弁と加圧弁を開ける→容器内圧が上昇する→液取出し口から液体窒素が出てくる。
2. 液の取り出し中は、容器内圧を上げすぎないように気をつける。用途にもよるが、0.02~0.05MPa 程度に保つと比較的扱いやすい。
3. 必要な量を取り出したら、取り出し弁と加圧弁を閉じてガス放出弁を開ける→容器の内圧を下げる。
4. 液が入った容器は、直射日光を避け、風通しや換気の良い場所に保管する。転倒などを防ぐため、適宜キャスターを使用する。取り出し弁と加圧弁を閉じて、内圧上昇を防ぐため、放出弁はなるべく開けておく。このとき、空気の流入によるブロックを防ぐため、放出弁にはゴム管にスリットを入れて片方の端をふさいだものを取り付けておくといよい(簡易な逆止弁となる)。



- | | | |
|------------|-----------|----------|
| 1 : 液充填プラグ | 5 : 圧力計 | 9 : 外槽 |
| 2 : 液取出弁 | 6 : ガス放出弁 | 10 : 内槽 |
| 3 : 安全弁 | 7 : 昇圧弁 | 11 : 昇圧管 |
| 4 : 破壊版 | 8 : 液取出管 | |

図 8 : 自加圧式容器の構造

【自加圧式容器の容器再検査について】

液体窒素の自加圧式容器は、高圧ガス保安法により定期的な再検査が義務付けられている。前回の容器検査年月を容器銘板の刻印などで確認し、検査が必要であれば容器の購入業者などに相談して、登録を受けた容器検査所で受検する。

表 4 : 容器再検査のサイクル

内容積	代表例	製造後の 経過年数	①1989.3.31 以前に 製造した容器	② 1989.4.1 ~ 1998.3.31 に製造	③1998.4.1 以降に 製造する容器
500 L 以下	可搬式超 低温容器	15 年未満	3 年	平成 10 年 4 月 1 日以降の最初の再 検査は①、その後の 再検査は、③によ る。	5 年
		15 年以上 20 年未満	2 年		
		20 年以上	1 年		2 年



図9：検査刻印の例

3.2 液体ヘリウム容器

外部に液体窒素槽を設けて内槽を冷やす液体窒素シールド型と、アルミニウムメッキをしたマイラなどを多層に巻きつけて断熱しているスーパーインシュレーション型(図10)がある。低温センターではスーパーインシュレーション型を使用している。

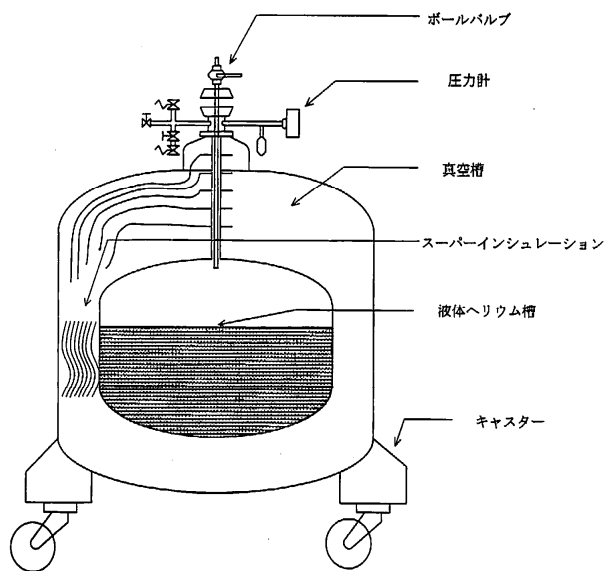


図10：ヘリウム容器の構造(左)、実物のカットモデル(右)

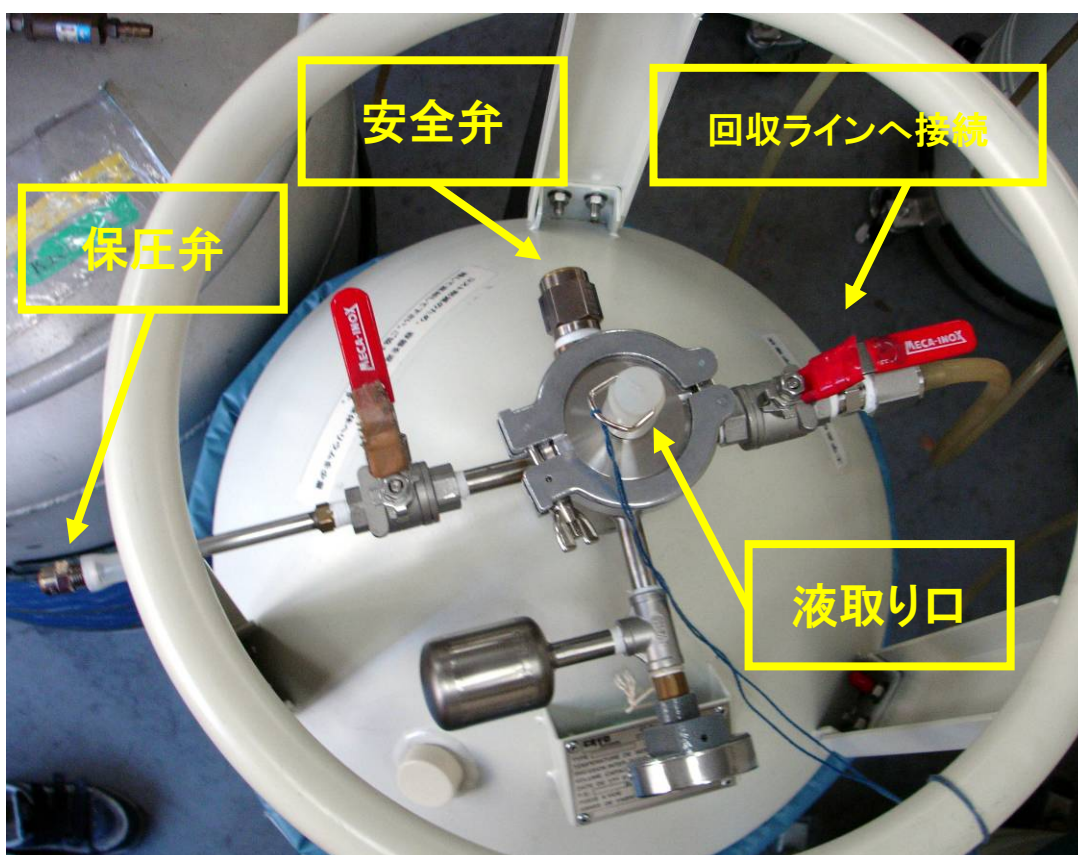


図 1 1 : 液体ヘリウム容器を回収配管につないだ例

[使い方と注意事項]

1. 肉厚が薄い上、特に液体ヘリウム槽はネック上端で固定されてぶらさがっているだけなので、衝撃に極めて弱い。慎重に扱う。
2. 汲み出し口を大気開放した状態で放置しない。容器に入った空気や水分が凍結してブロックし、そのまま放置すると内圧が上がって事故などにつながるおそれがある。
3. 汲み出し口がブロックした場合は、銅パイプなどで軽くついて取り除く。このとき、革手袋を着用し、汲み出し口から顔を遠ざけること。また、作業前に容器の内圧を必ず確認し、内圧が高くなっているときには回収配管につなぐなどしてなるべく圧力を下げてから作業すること。

[学内で液体ヘリウムを使うときの注意事項]

ヘリウムは、日本では 100%輸入に頼っている希少な物質である。このため、本郷キャンパスでは、液体ヘリウムからの蒸発ガスを回収し、低温センターで再度液化して使用している。研究室からの回収率が低下する、つまり損失ガスが多くなると、補充のためのヘリウム購入量が増え、学内での供給価格に影響する。また、回収ガスの純度が悪化すると液化設備の故障につながることも起こりうる。安定した供給を維持するためにも、利用者

のみなさんには回収率向上と回収純度の維持にご協力いただきたい。

1. 研究室などで液が入った容器を保管するときは、必ずヘリウム回収配管に接続する。
このとき、回収配管につながるバルブのみを開け、他のバルブは閉じておく。
2. 回収配管のない容器返却場所では、汲み出し口と放出バルブを確実に閉じ、保圧弁側のバルブのみ開けて内圧の上昇を防ぐとともに、指定された時間内に容器の引き取り・返却を行ってすみやかに回収配管へ接続する。
3. 液体ヘリウム容器は、容積の約 10%以上ヘリウムを残した冷えた状態で返却する。いったん容器が温まると、断熱真空が悪くなって容器の性能が悪化する・容器を再冷却するときに通常より多量の寒剤が必要になる、など、供給全体へ悪影響を及ぼすこともある。
4. 液の移送には必ず専用の移送管(トランスファーチューブ)を使用する。このとき、液体ヘリウムを最後まで使い切らないよう、容器側の移送管は十分な高さまで上げておき、また、加圧しすぎないように注意する。また、移送中の蒸発ガスもできる限り回収するよう工夫する。
5. 回収流量計に冷たいガスを流すと凍りついて故障の原因になることがあるので、蒸発ガスはなるべく常温程度まで温めてから流量計に流す。

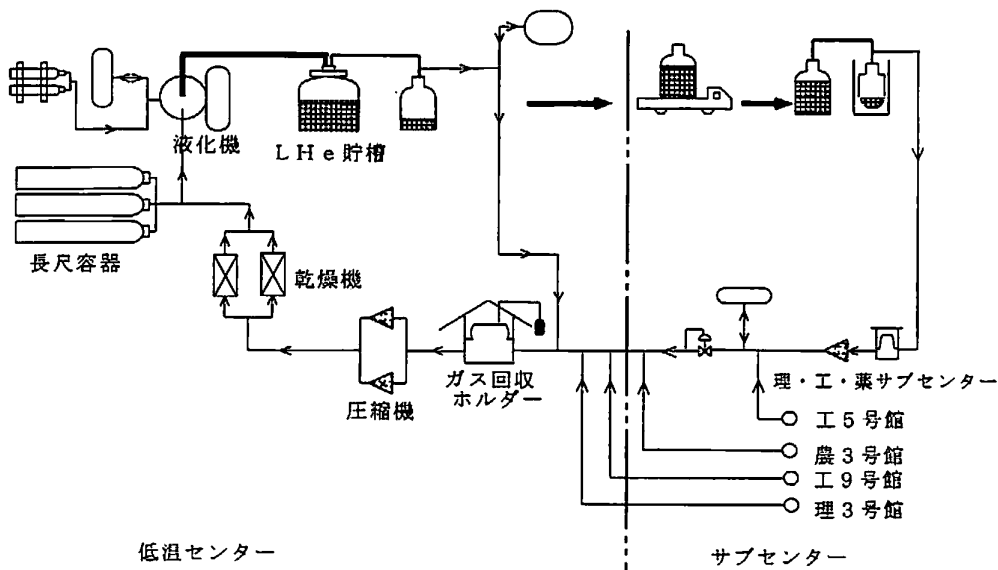


図 1 2 : 本郷キャンパスでの液体ヘリウムのサイクル

4 参考・・・高圧ガスボンベについて(本郷キャンパス)

ガスボンベの購入・使用・保管、使用済ボンベの保管・返却は、環境安全本部及び各部署の安全衛生管理室などの指示に従って行うこと。

特に、本郷以外のキャンパスや学外の研究機関では、監督官庁が異なるため管理方法もさまざまである。それぞれの場所での指示・指導に従い、安全に取り扱っていただきたい。

寒剤(特に液体ヘリウム)を移送するときなどにヘリウムボンベを使用する場合もあるので、ここではガスボンベ使用上の注意事項をごく簡単にまとめた。

【容器の指定色】

高圧容器の外側は、次のように色分けされている。(容器則第十条)

ガスの種類	塗色の部分
酸素ガス	黒色
水素ガス	赤色
液化塩素	黄色
アセチレンガス	かつ色
液化炭酸ガス	緑色
液化アンモニア	白色
その他の高圧ガス	ねずみ色

【容器の刻印】

容器の肩部には、次の事項が刻印されている。

	記載例
①ガスの種類	He
②容器の記号番号	ABC 23456
③内容積 (L)	V 47.2
④容器質量 (k g) (バルブ、キャップなどを含まない容器重量)	W 60.2
⑤耐圧試験に合格した年月	4.98
⑥耐圧試験圧力	TP 24.5
⑦最高使用充填圧力(MPa・35℃のとき)	FP 14.7

再検査時の容器重量、容器検査所の符号、再検査施行年月が刻印されているものもある。また、刻印が不可能な容器には充填ガスの種類等を示すラベルが貼付されている。

【ボンベ使用上の注意】

1. バルブを急に開けない。
2. 開ける前にガスが出る方向に注意し、出口側に人がいないことを確かめてから静かに開ける。はじめはゆっくりと開ける。漏れなどを確認してから十分に開けて使用する。
3. ガスの使用後は、完全にバルブを閉めてキャップをかぶせておく。
4. 圧力調整器を使用する場合は、容器のバルブと圧力調整器のバルブが閉まっているこ

とを確認してから、容器に圧力調整器を取り付ける。

[圧力調整器(レギュレータ) 使用上の注意]

1. ゴミがかまないように取り付ける。必要ならふかし等を行う。
2. 容器のバルブねじと圧力調整器のバルブねじにガタのあるものは使用しない。
3. 口金の形(ネジの方向やピッチなど)がガスの種類によって異なるため、圧力調整器はガス種ごとに用意する。
窒素、酸素など→右ネジ
水素、ヘリウムなど→左ネジ
4. 圧力計、ホース、導管なども、そのガス専用のものを使用する。特に酸素ガスの場合、油分が有ると爆発するので注意する。
5. ネジの継ぎ手等に漏れがある場合には、バルブを閉め圧力を抜いてからパッキンの有無、損傷などを確認して漏れ箇所の増し締めなどを行う。
6. 高純度ガスを使用するときは、使用前に圧力調整器や接続導管の内部を十分にパージする。
7. ガス漏れの危険を常に考え、換気に注意する。

<参考文献>

e-Gov 法令データ提供システム <http://law.e-gov.go.jp/cgi-bin/idxsearch.cgi>

ドリンカーの救命曲線(倉敷市消防局)

<http://www.city.kurashiki.okayama.jp/fire119/iza/drinker.html>

低温工学ハンドブック 低温工学会関西支部

理科年表(平成18年版) 丸善

低温技術[第2版] 小林俊一・大塚洋一 著 東京大学出版会

高圧ガス保安教育新人教育講習会テキスト 東京大学物性研究所低温液化室

東京大学2008年度版高圧ガス保安講習会資料 太陽日酸(株)/東京大学環境安全本部

発行 2010年4月

東京大学 低温センター 業務部門

E-mail teion-info@crc.u-tokyo.ac.jp

内線 22853

URL <http://www.crc.u-tokyo.ac.jp/>