

富山大学自然科学研究支援ユニット  
極低温量子科学施設  
寒剤の取り扱いに係る安全講習会2018

第II部

2018.5.23

出席者（液体ヘリウムを扱う方）は、入り口前受付に置かれた出席簿に所属（学部・学年・研究室）と氏名を記入して下さい。

# 本講習会の内容

- 高圧ガスについて
- 液体ヘリウムの基本的性質
- 液体ヘリウムの利用と取り扱い
- クエンチについて
- 液体ヘリウムのくみ出し方と注意
- その他

講師: 桑井 智彦

(理学部物理学科・極低温量子科学施設施設長)

# 高圧ガスとは

○35°Cで1MPaG以上となる圧縮ガス

(例: 7 m<sup>3</sup> 14.5 MPaGのガスボンベ)

○35°Cで圧力0.2MPaG以上となる液化ガス(低温液体)

1MPaG ~ 10kg/cm<sup>2</sup> ~ 1気圧の10倍 (10気圧)

G:ゲージ圧 大気圧を0 MPaGとする

ヘリウム液化システムの一部(2.4 MPaG)

ヘリウム回収システム(14.5 MPaG)

**高圧ガス保安法で規制**

# 圧力単位の換算

1 気圧 (1 atm) は...

1013 hPa  $\sim$  0.1 MPa

0 MPaG (ゲージ圧)

1013 mbar

760 mmHg = 760 Torr

14.96 psi (ポンド毎平方インチ)

# 液体ヘリウムの基本性質

## ○寒剤の生成と種類

液体窒素 ( $\text{LN}_2$ ) 沸点  $77.35\text{K}$  (@  $1\text{ atm}$ )

固化温度  $63\text{K}$

比重  $0.808\text{ kg/L}$

液体ヘリウム ( $\text{LHe}$ ) 沸点  $4.217\text{K}$  (@  $1\text{ atm}$ )

常圧下では固化しない

比重  $0.125\text{kg/L}$

減圧により  $1\text{ K}$  程度まで冷却

超流動転移  $\lambda$  点 =  $2.17\text{K}$

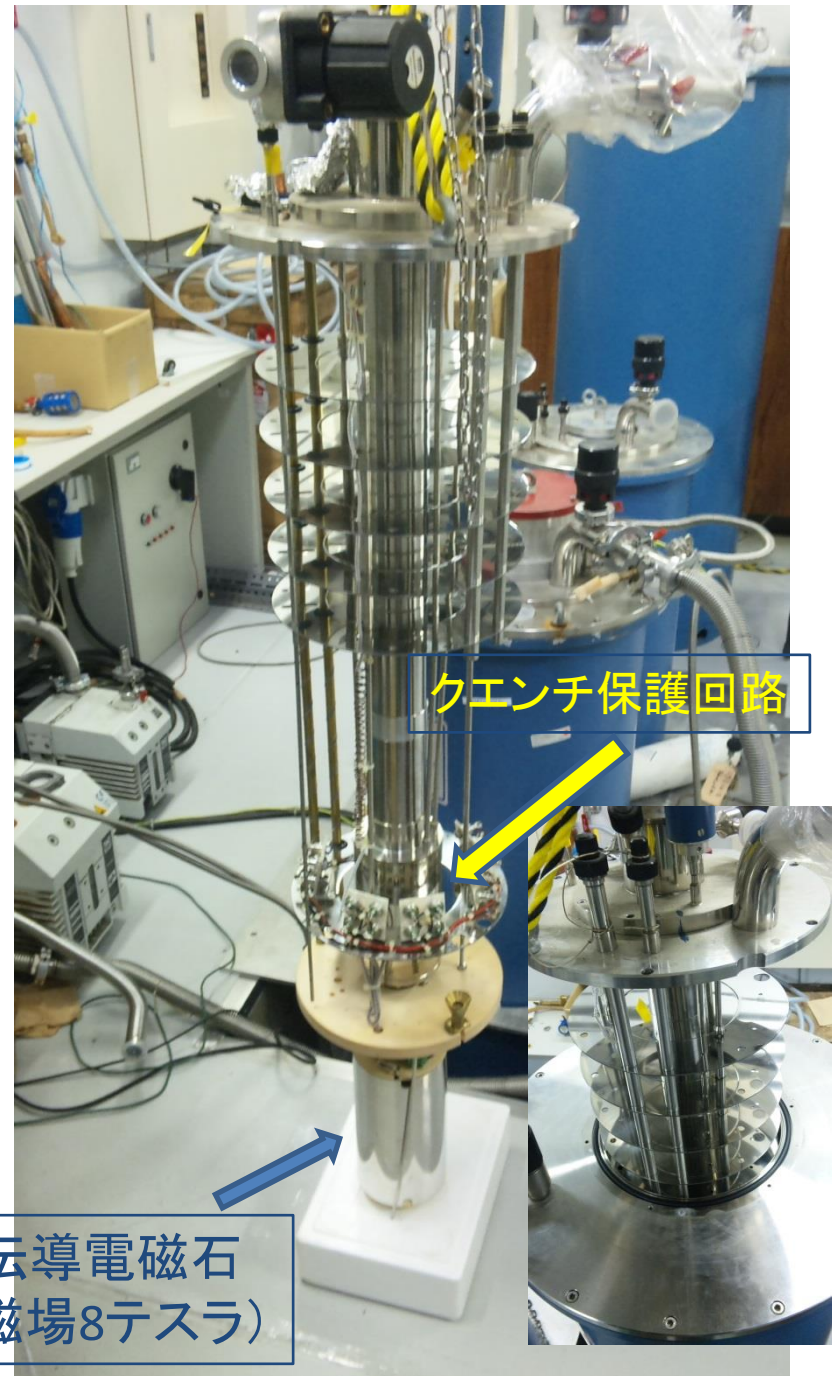
# 液体ヘリウムの利用

○対象物体(物質)の冷却

○超伝導電磁石の冷却



LHeに浸す  
超伝導状態の安定化



クエンチ保護回路

NiTi超伝導電磁石  
(最大磁場8テスラ)



# 極低温量子科学施設

## ヘリウム液化システム

### ○ヘリウム液化機

Linde社(大陽日産)製 L70型

液化能力 40L/h(純ガス)

33L/h(不純ガス)

室温～液化開始まで約6時間

### ○液化運転体制(H27年初頭時)

担当者: 田山, 桑井(理),

並木(工)

※専属の職員はいません。

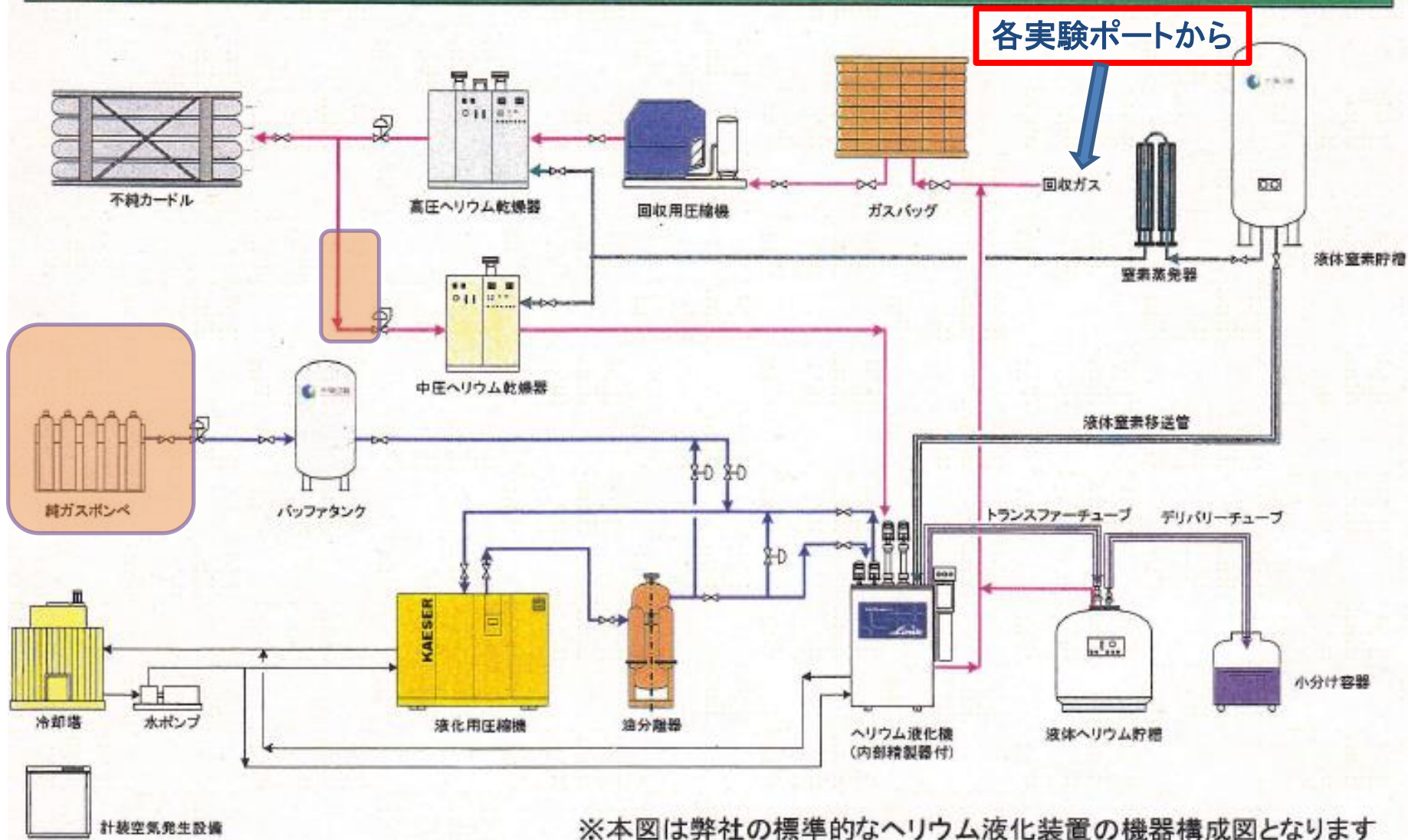


1500L  
LHe 貯槽

L70 液化機  
コールドボックス

MVE100  
汲み出し  
小分け容器

# ヘリウム液化装置機器構成図(内部精製器付)



各実験ポートから

※本図は弊社の標準的なヘリウム液化装置の機器構成図となります



○液体ヘリウムの購入価格(富山地区)

⇒1Lあたり約2,400円(状況により変動)

(極低温子施設2017年実績)

○ヘリウムガスの購入価格

⇒高純度G2(99,999%)

7m<sup>3</sup>(高圧ボンベ入) 3,200円

液1L換算 約3,000円

○液化機を用いたヘリウムガスの再利用

⇒1Lあたり500円

※ヘリウムガスは世界的に供給不足

日本国内では産出されない

⇒使い捨ては許されない

# 液体ヘリウムの安全な＝正しい取り扱い

○気化すると約700倍の体積膨張

密閉容器内で高圧力⇒**破裂・爆発の危険**

⇒“機械的に弱い“逃がし口の確保

ゴム栓

ガスバルーン/安全弁/破裂弁

ガラスデュワーではガラス飛散防止策～箱で囲む

○**凍傷・怪我の危険性**

蒸発したヘリウムガスに触れると凍傷を起こす

液体ヘリウムで冷えた金属(トランスファーチューブなど)

⇒素手では触らない, 低温用手袋の着用

⇒液化酸素(沸点90 K)の発生: 火気厳禁

ヘリウム移送中・後の凍結したバルブ

⇒ドライヤで加温し, 安全に操作

# 液体ヘリウム使用時の事故例

某大学 1992年4月

ガラスデュワーを用いたヘリウム実験の後片付け時、5 L程度の超流動ヘリウムを通常ヘリウムへ戻すためにヒーター加熱を行ったところ、**想定外の急な膨張**が生じ、ガラスデュワーが破裂、**飛び散ったガラスの破片で怪我**。木箱でデュワーを囲んでいたが、爆風で半壊。

※原因は複数の不具合による。

圧力的にガラスよりも弱い箇所を数多く作り、圧抜きが速やかにできるように対処することで、ある程度は防げた事故。

# クエンチについて

○クエンチとは

超伝導電磁磁石 (SCM) を用いた実験・応用計測  
(NMR, 医療用MRI, 磁場中物性測定)

SCM: 超伝導線材 (NbTi や Nb<sub>3</sub>Sn) に 100 A 超の電流印加

⇒ 数テスラ～15テスラの高磁場を生成

臨界電流, 臨界磁場を持つ

長期にわたる使用 ⇒ ソレノイドの劣化など

⇒ 実効臨界電流・磁場の低下を引き起こす

**超伝導状態の破壊 = クエンチ**

## ○クエンチが発生すると

超伝導線材⇒抵抗ゼロから有限な抵抗値  
～100 Aの電流⇒ジュール発熱



液体ヘリウムの瞬間的な大量蒸発  
(10 Lの場合, 約7000 L=7 m<sup>3</sup>の膨張)

## ○クエンチが発生したら

1. 装置内のヘリウム空間の圧力を下げる: 安全弁
2. 回収ラインを遮断, ガスバッグへガスを入れない  
⇒バッグの破損を防ぐ

過去に破損事故があった

3. 実験室内の換気をする



# 液体ヘリウムの汲み出し

○1500L貯槽から汲み出し用大型容器への  
液体ヘリウムの汲み出し

⇒教職員のみが行う

○実験用小分け容器への汲み出し用大型容器

MVE社製 100L容器(共通使用)

CAG社製 100L, 50L容器

Air Liquide(AL)社製 100L容器

※貸し出し(短期間)可⇒保安係員に相談

# ヘリウム移送(トランスファー)の準備

## ○実験用小分け容器の予冷

室温からのヘリウムの直接移送は禁止

(容器にLHeを溜めるために大量のヘリウムが必要)

**一晚程度LN<sub>2</sub>で予冷する**など、容器内を十分低温に

## ○汲み出しの予約

極低温施設内の予約掲示板に**汲み出し希望の日時,**

**汲み出し責任者名, 希望液量/使用液量, 場所,**

**汲み出し用容器名を明記**

例: 8:30~9:00 桑井 5L/8L 研究棟3F MVE100

## ○汲み出し用大型容器の移動

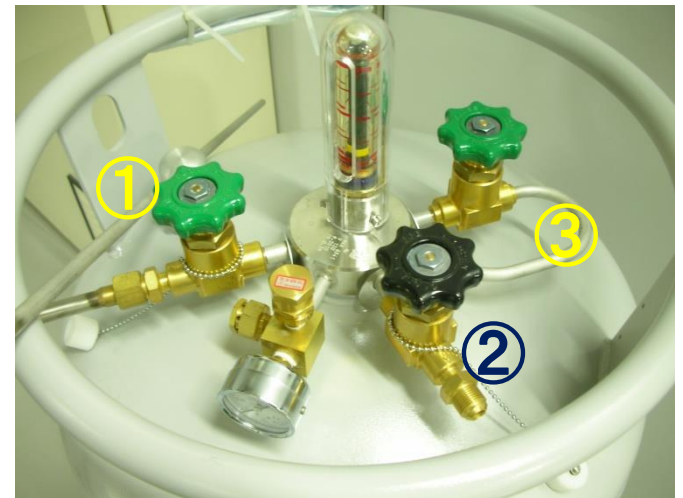
極低温施設の所定の位置から移動。

使用後所定の位置に戻す

# 自加圧式(昇圧弁付)液体窒素容器からの汲み出し

1. 汲み出したい容器へ液取りチューブを挿入し、汲み出しバルブ①を開ける
2. 逃し弁②(通常開)を閉じる
3. 昇圧弁③(通常開)を開き圧力を調整し、液を出す
4. 液取り後、速やかに昇圧弁③を閉じ、逃し弁②を開ける
5. 汲み出しバルブ①を閉じ、  
液取りチューブを  
抜く

※昇圧弁を開くと下部につながるチューブに液体窒素が入り蒸発し、加圧される。



# ヘリウム移送前後のガスバッグの状態に注意

ヘリウム移送時に蒸発したガス⇒ガスバッグに一時溜める

15 m<sup>3</sup>以上溜まる⇒自動的に高圧ガスカードルへ詰める

予約掲示板に従い，事前に  
保安係員が手動で回収



普段は気にしなくても良い  
10Lを超える汲み出しの場合



右のようになっていた場合は  
保安係員へ連絡してください。



# 小分け容器への高効率なヘリウム移送方法

0. 実験用小分け容器を $\text{LN}_2$ で十分に予冷しておく。  
移送直前に $\text{LN}_2$ を除去し、Heガス置換をする。
1. 汲み出し容器へトランスファーチューブをゆっくり挿入する。  
底部まで達したら2cmほど浮かす。
2. 小分け容器へトランスファーチューブを挿入する。  
(補充するときにはゆっくりと)
3. 汲み出し容器側の回収バルブをいったん閉じ、  
回収管を外し、加圧用バルーンを取り付ける。
4. 回収バルブを開け、容器内を加圧する。最初は軽くバルーンがふくらむ程度の圧力を維持。  
小分け容器側のバルーンが軽く膨張・収縮するようになるまで少しずつ圧力を上げていく。





5. しばらくすると小分け容器側のバルーンが大きく膨らみ、ガスの放出が激しくなる(のでびっくりしないこと)。
6. さらに上の状態を維持するように圧力を調整すると、やがて小分け容器のバルーンが周期的に膨張・収縮を繰り返す。
7. 膨張が収まると液がたまり始めた証拠。液面計などで移送が始まったこと確認し、ここから圧力は強めにして希望する量を移送する。
8. 汲み出し容器側のバルブを閉じ、加圧用バルーンを外し、回収管をつなぎ、再び回収バルブを開けて高圧のガスを解放する。
9. 圧力が下がったらトランスファーチューブを引き抜く。

注1. 最初から圧力を高くしてはならない。始めの圧力が高いとなかなか液がたまらない。少しずつ加減していくこと。

注2. 回収チューブに折れなどを作らない。容器内の圧力が上がり危険である。

注3. 作業終了後、汲み出し容器のチューブ挿入部のバルブを忘れずに閉める。



## ヘリウムの汲み出し後

○汲み出し用大型容器の所定の位置への返却  
回収塩ビチューブへ連結, 回収管バルブの操作

○容器備え付け汲み出し記録への必要事項記入

例 5/14 10:00 15.5cm→10:35 7.5 cm 10L /16L 桑井

25 L

9L

↑

小分け容器への汲み出し量/大型容器からの使用量

○極低温施設内設置の汲み出しノートへ記録  
所定の書式に従って記入

## その他注意事項

- ヘリウム回収管は**確実につなぎ**，ヘリウムガスを大気へ逃がさない。ただし，万が一の事態に備えて，圧力に対して弱い部分を設けておく。(ゴム栓，安全弁など)

※ヘリウム購入⇒液体1L 約2,400円＋慢性的供給不足

- 真空ポンプを使ってLHeを減圧するときは，ポンプのオイルを回収ガスに混入させないように可能な限り努力する(オイルミストトラップなど)また回収ラインに**空気を混入させない**。

⇒2013年11月に混入発生,現状復帰までに2か月を要した。

(液化効率の極端な低下)

- 回収管にゴムチューブを使用する場合，**途中で折れていないか**を確認(回収路の遮断がないか)する。また，破れや裂け目などの**劣化がないか**も確認する。

- これからとるアクションによってどういうリアクションが  
起こるかを意識する。  
他の状況に好ましくない事態を引き起こさないかを考  
える。  
無意識にバルブ等の操作をしない。  
慌てず慎重に確実に操作する。
- 作業手順を3つ先までイメージする。  
想定される危険な状況をイメージしておく。
- 正しくアクションを起こせば、事故は起こらない。
- 万が一危険な状況が生じても慌てず、冷静にイメージ  
にしたがって行動する。ただし、身を守ることを第1に。

## 不明な点は保安係員まで

極低温量子科学施設

保安係員(正) 田山 孝(理) 6582

保安係員(副) 西村 克彦(都テ) 6844

統括者(施設長) 桑井 智彦(理) 6586

統括者代理 西村 克彦(都テ) 6844

液化担当者(現時点)

理: 田山, 桑井, 榎本, 松本, 都テ: 並木



# 正しい知識と対応で 事故のない安全な 実験・研究を



おわり