

低温液化室

Cryogenic Service Lab.



国立大学法人 東京大学 物性研究所
The University of Tokyo The Institute for Solid State Physics



写真説明：(左)遠心式液体ヘリウム汲み上げポンプ (中)ヘリウム液化機と液体ヘリウム貯槽 (右)液体ヘリウム中の「カピッツァのクモ」

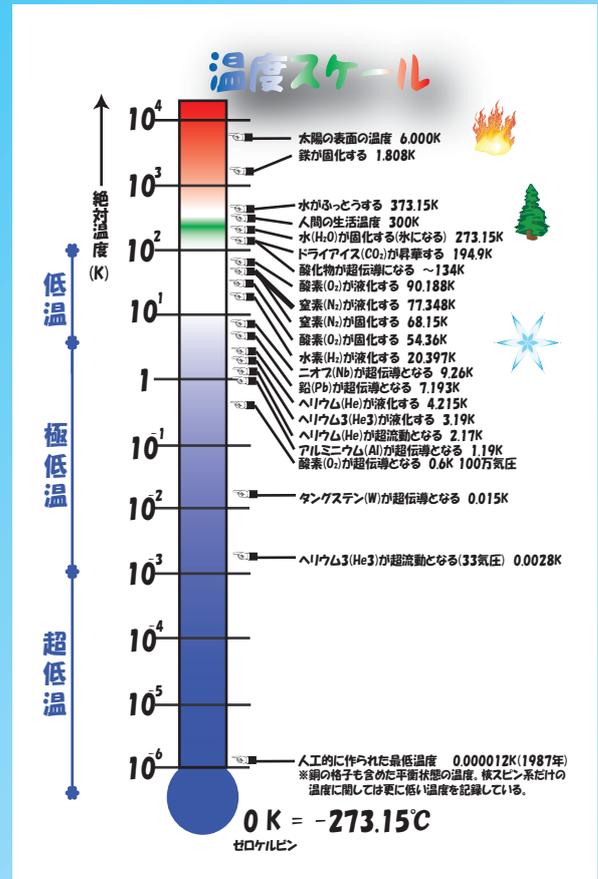
液化の歴史

ガスの液化

低温開拓の第一歩はガスの液化からはじまった。当時(1820年頃)、今では何の疑いも持たれない事実、「すべての気体は冷却すれば液体になる」という事の実証に向けて、次々とガスの液化を試みた。1823年には塩素ガスが加圧することで液化されることが発見され、また加圧下で液化したのち、その圧力を1気圧に戻すことによって更に温度が下がることが発見され、初歩の液化ガスの製造技術が確立された。

こうして炭酸ガス、アンモニアと次々とガスの液化が実現されたのち、1870年頃には加圧冷却によって液化できない気体は、酸素、窒素、水素、ヘリウムの4種類だけとなった。その後、蒸気機関と熱力学の進歩により1877年には酸素と窒素が、1898年には水素が液化され、1908年ついに永久気体と呼ばれた最後のヘリウムがカマリン・オンネスによって液化されるに至った。

これよりさらなる低温への道は、人類の豊かな着想と努力によって、現在では絶対零度に迫ること 10万分の1 Kといった領域まで到達している。



カマリン・オンネス(左)
ファン・デル・ワールス(右)



オンネスの世界最初の
ヘリウム液化機

低温液化室の歴史

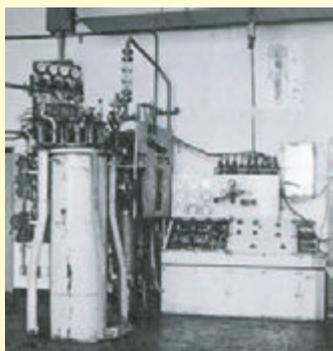
物性研究所 低温液化室は、設立当初は極低温部門にあって専らこの研究部門で使用する寒剤を生産していた。その後、研究部門の拡充、発展に伴い、寒剤を必要とする研究室が増えてきたため、1960年に液化室の建物が竣工されたのに伴い、所内の共通施設の一つとして発足した。発足後は専任のスタッフを配置し、機器の維持・管理、寒剤の供給、低温技術に関する研究室へのサポートを行っている。

設立当初は液体ヘリウム・液体窒素・液体水素・液体空気などはすべて低温液化室で生産し、供給していたが、その後、液体水素・液体空気・液体窒素は製造設備が古くなり、液化能力が低下した為生産を中止した。現在は液体窒素を外部から購入し、液体ヘリウムのみを生産、供給している。

1999年には、キャンパス移転計画に伴い、六本木キャンパスより柏キャンパスに移転した。移転後は、他部局からの要望にも出来る限り答えるべく、柏キャンパス全体に寒剤の供給を行っている。また、独立行政法人化に伴い発足した柏キャンパス 環境安全管理室より委託を受け、柏キャンパス内の高圧ガス全般に関する安全管理・指導も行っている。

ヘリウム液化機の変遷

| | |
|-------|--|
| 1958年 | カスケード式水素・ヘリウム液化機 日本(物性研・日本酸素)製 国産第1号機 水素液化能力 8L/時、ヘリウム液化能力 6L/時 |
| 1960年 | コリンズ式ヘリウム液化機 Model-50 アメリカ(A. D. L. 社)製 ヘリウム液化能力 7L/時 窒素液化機 オランダ(フィリップス社)製 窒素液化能力 30L/時 |
| 1963年 | コリンズ式ヘリウム液化機 Model 200-C アメリカ(A. D. L. 社)製 ヘリウム液化能力 8L/時 |
| 1972年 | SL-225型ヘリウム液化機 日本(住友重機械)製 ヘリウム液化能力 25L/時 |
| 1979年 | ターボクール100ヘリウム液化機 英国(B. O. C社)製 ヘリウム液化能力 100L/時 |
| 1994年 | TCF-50ヘリウム液化機 スイス(Linde社)製 ヘリウム液化能力 150L/時 |
| 1999年 | TCF-50ヘリウム液化機(1号機) スイス(Linde社)製 ヘリウム液化能力 180L/時 |
| 2006年 | TCF-50ヘリウム液化機(旧2号機) スイス(Linde社)製 (本郷 低温センターより移設・1号機と併用) ヘリウム液化能力 135L/時 |
| 2010年 | L280ヘリウム液化機(2号機) スイス(Linde社)製 (旧2号機を更新・1号機と併用) ヘリウム液化能力 203L/時 |



▲カスケード式
水素・ヘリウム液化機



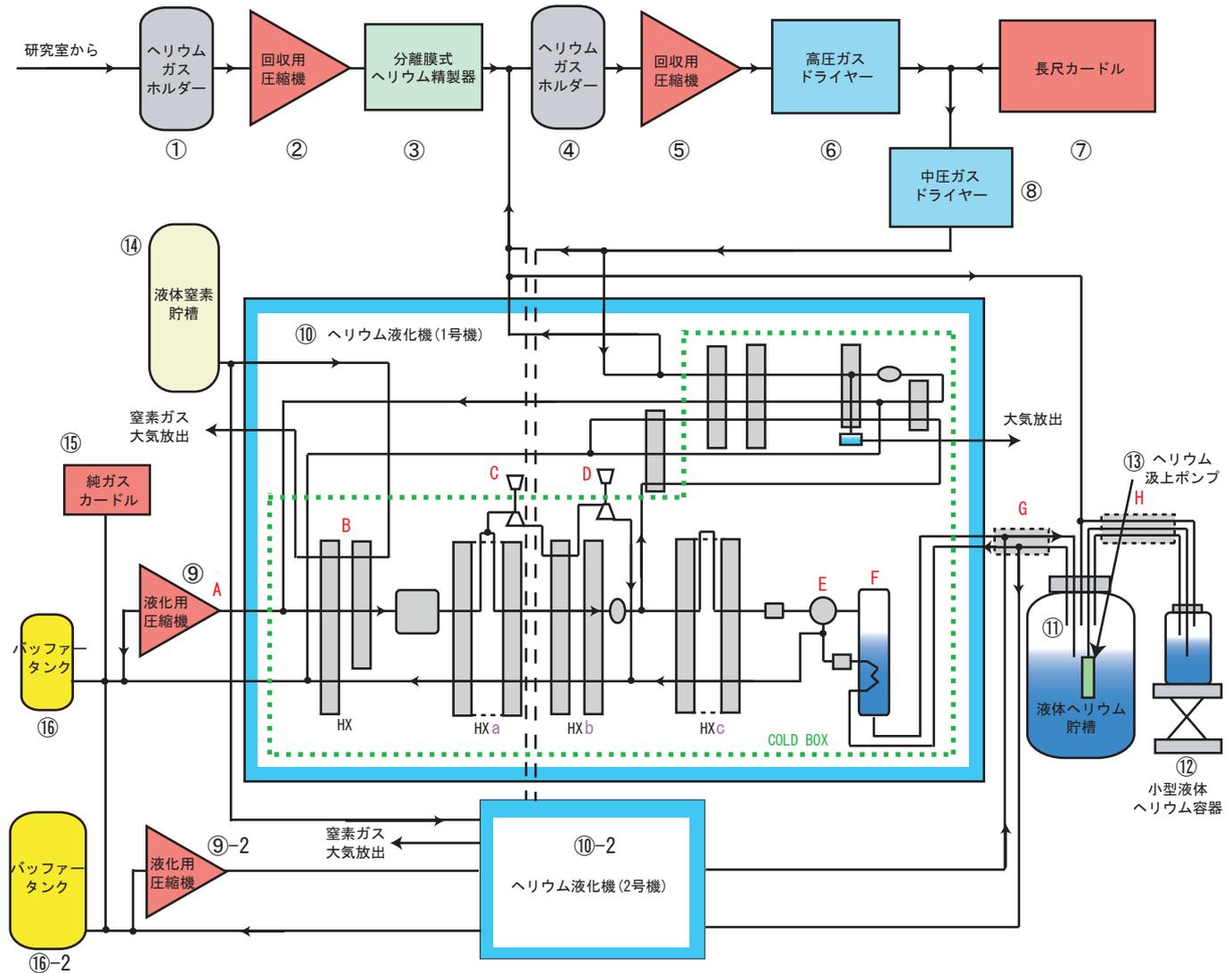
▲コリンズ式
ヘリウム液化機
Model 200-C



▲SL-225型
ヘリウム液化機

ヘリウム液化製造設備

液化ヘリウム設備の系統図



各研究室より回収された不純ヘリウムガスは回収ホルダー①に集められ、回収用圧縮機②によって15MPaに圧縮され、ガス分離膜式精製器③へ入る。精製されたヘリウムガスは、一旦精製用ガスホルダー④に集められ、精製用圧縮機⑤によって再び15MPaまでに圧縮され、高圧ガスドライヤー⑥を通して水分を除去してから備蓄用長尺カードル⑦に充填される。

ヘリウムガスは、液化機内に入る前に更に中圧ガスドライヤー⑧に送られ、水分等を除去する。水や空気は固化すると液化機内のタービンを傷める原因になり、液化システム全体の故障にもつながる。こうして純化されたヘリウムガスは、ヘリウム液化機⑩、⑩-2(※)へと送り込まれ、更に液化機内の精製器で精製される。高純度となったヘリウムガスは液化用圧縮機⑨、⑨-2(※)で圧縮され、熱交換器やJT弁を通して、ようやく液化される。

(※)2009-10年度にかけて液化機2号機を更新、圧縮機を増設。1号機・2号機の単独運転及び2機同時運転が可能。

液化機で液化されたヘリウムは10,000L貯槽⑪に一旦貯蔵され、ヘリウム移送管Hによって各研究室の小型ヘリウム容器⑫に供給される。ヘリウムを小分け容器に移送するには、貯槽に圧力をかけて移送する方法が一般的であるが、物性研究所では、1994年に更新した液化システム以降、遠心式液体ヘリウム汲み上げポンプ⑬を採用しており、供給にかかる時間は従来の方式と比較すると10分の1程度となっている。

液体ヘリウムは各研究室で実験に使用された後、研究所全体に網羅された回収配管を通し、再び回収ホルダー①に戻ってくる。

ヘリウムの液化

ヘリウムガスを液体にする方法は、ヘリウムガスを高圧（圧縮）にしたのち他の冷媒で50K以下までに冷やしジュール・トムソン膨張させて液化する方法（リンデサイクル）と、圧縮したヘリウムガスを膨張機（ピストンやタービン等）を用いて断熱膨張させ液化する方法（クロードサイクル）がある。また、一般的な気体では熱交換器を用い、順次冷却していく方法（カスケードサイクル）がある。実際の液化機は効率を上げるため、これらの方式を組み合わせる方法をとる。この場合、予備冷却の冷媒として液体窒素（77K）を用いることが多い。TCF-50もこの方法を用いている。

液化ヘリウム製造設備の系統図中⑨、⑩でまず、ヘリウムガスを1.5MPaまでに圧縮(A)し、このガスを液体窒素で77Kまで冷却されている熱交換器(B)に送り冷やす。次に液体窒素温度に冷えた高圧のヘリウムガスを一部は第一段膨張タービン(C)、第二段膨張タービン(D)へ送る。2つのタービンで温度を下げられた高圧のヘリウムガスは、最後にエジェクター(E)をとおり、液体になる。なお、ガスの通る部分には数段のヘリウム自身を冷媒とした熱交換器があり(a~c)、効率よく熱交換させながら温度を下けている。

液化されたヘリウムは液化機内の液溜(F)に一旦溜められた後、三重管(G)を通してヘリウム貯槽に溜められる。また、貯槽内で自然蒸発した液体ヘリウム温度付近のヘリウムガスは、三重管(G)を通してすぐに液化機に戻され再び液化される。



ヘリウム液化機のタービンの
カットモデル

低温における不思議な現象



酸化物高温超伝導体によって浮き上がる磁石

1980年代に発見された高温超伝導体は超伝導体の幅広い応用をひらくものとして期待されている。



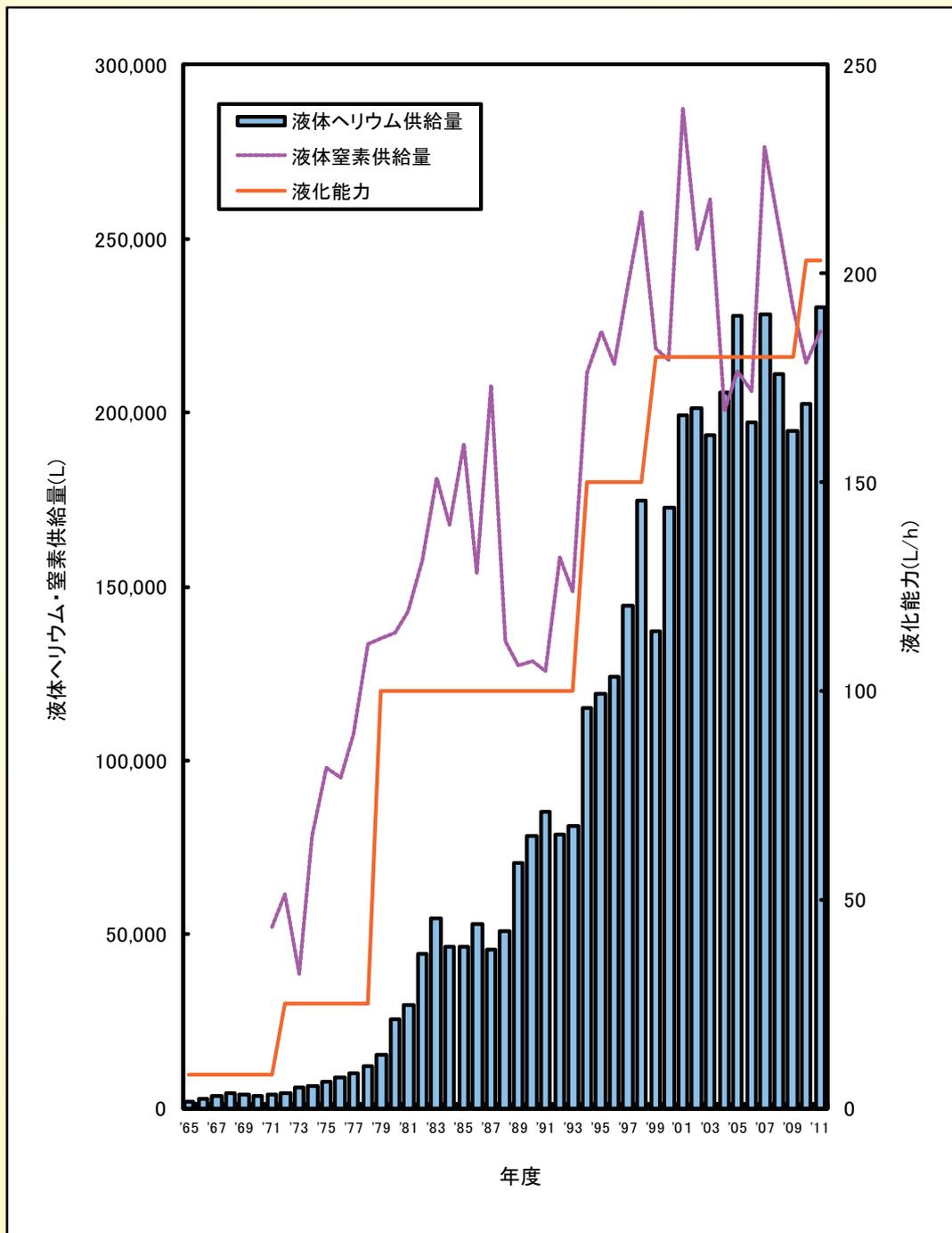
液体ヘリウムの超流動

液体ヘリウムは2K以下の低温では粘性のない液体となり、ひとりでに容器をはい上がって外にこぼれてしまう。

年間供給量の推移

1947年、実用的なコリンズ型ヘリウム液化機の開発とその普及により液体ヘリウム(-269°C)を用いる低温研究は飛躍的に発展した。今日では、リニアモーターカー、MRI、NMR、量子コンピュータなどの日常に結びつく応用が次々と開発され、低温研究は時代を担う科学として重視されている。特に物性研究では、物質の真の姿を見つけ出す手段として液体ヘリウムは欠かすことのできない寒剤で、使用量は年々増加の一途をたどっている。

当研究所においても、種々の物性研究の発展や実験手段の多様化に伴い、液体ヘリウムの使用量は年々増大している。また、柏キャンパス移転を機に新領域創成科学研究科への供給を開始し、さらなる需要の増加が見込まれている。



液体ヘリウム・液体窒素の供給量とヘリウム液化機の液化能力

低温液化室の役割

当液化室の役割は研究所内の共通施設として、所内や所外の共同利用にもとづく低温実験に必要な液体ヘリウムや液体窒素などを各研究室に供給することにある。このため液体ヘリウムの製造から製造設備の保守・管理などに関する業務を一括して行っている。また、低温技術に関する開発及びサービスも随時行っている。

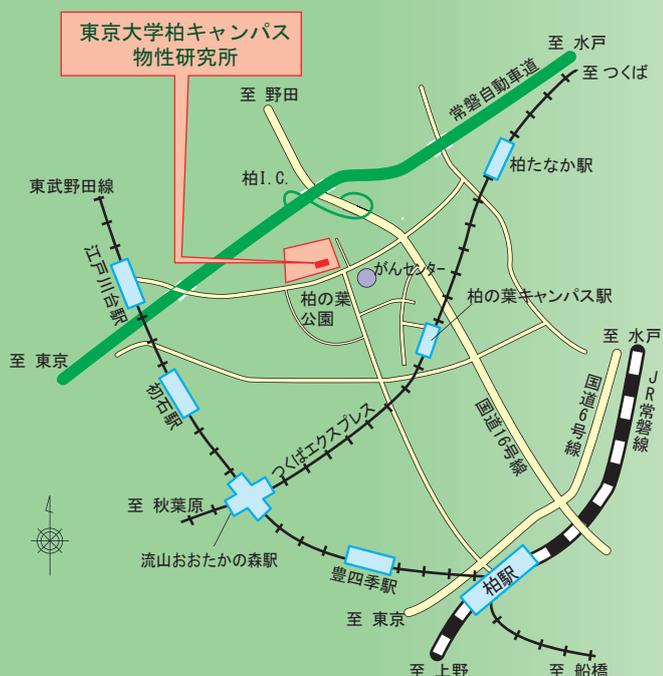


デモ実験用ガラスデュワー
液体ヘリウムを直に目で見る
ことができる他、超流動、超伝導
のデモ実験が行える。



液体窒素自動供給装置
20,000Lの液体窒素貯槽よりユーザに小分けされる。
供給量はパソコンで自動集計・管理される。

案内図



- つくばエクスプレス 柏の葉キャンパス駅から
【バスの場合】
柏の葉キャンパス駅西口 東武バス1番のりば
系統番号 行先
西柏03 流山おおたかの森駅東口行き
(国立がん研究センター経由)
西柏03 東大西行き
(国立がん研究センター経由)
西柏04 江戸川台駅東口行き
西柏10 江戸川台駅東口行き(みどり台中央経由)
バス降り場 東大前

【徒歩の場合】 柏の葉キャンパス駅西口から約25分

- JR 常磐線 / 東武野田線 柏駅から
柏駅西口 東武バス2番乗り場
系統番号 行先
西柏01 柏の葉公園経由 国立がん研究センター行き 東大前
柏44 税関研修所経由 国立がん研究センター行き
国立がん研究センター 下車 徒歩5分

- 東武野田線 江戸川台駅から
江戸川台東口バス停
系統番号 行先
西柏04 柏の葉キャンパス駅西口
(国立がん研究センター経由)
西柏10 柏の葉キャンパス駅西口
(みどり台中央経由)

- 車で
常磐自動車道柏I.C. 千葉方面出口から
国道16号線へ500m先「十余二工業団地入口」交差点を右折

国立大学法人 東京大学 物性研究所 低温液化室
〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5-1-5
TEL 04-7136-3515 FAX 04-7135-1232
E-mail ekika@issp.u-tokyo.ac.jp
<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/cryogenic/>

ヘリウム液化機及び付属機器の概要



⑰, ⑰-2 Heガス分析計
Linde社製
O₂, H₂O, CxHy, N₂検出可能



②⑤回収・精製用圧縮機
ブルックハルト社製
190Nm³/h × 2基



③ヘリウムガス精製器
川崎重工社製 ガス分離膜式
処理能力 144Nm³/h



⑨ヘリウム液化機用圧縮機
前川製作所製 2520MSC
処理能力 1,660Nm³/h



⑥高圧ヘリウムガス乾燥器
小池酸素工業社製
2筒式 12時間切り替え式



⑦長尺容器 貯蔵能力 11,250Nm³
A (2,250Nm³), B (1,350Nm³), C (900Nm³)
D (3,375Nm³), E (3,375Nm³) 5系統 切替使用可



⑧中圧ヘリウムガス乾燥器
小池酸素工業社製
2筒式 24時間切り替え式



◀ ⑩ヘリウム液化機 1号機 (右)
LINDE社製 TCF-50
第1タービン 4,700rps
第2タービン 3,600rps
液化能力 (IMPURE) 180L/h

⑩ヘリウム液化機 2号機 (左)
LINDE社製 L280
第1タービン 3,800rps
第2タービン 2,700rps
液化能力 (IMPURE) 203L/h

⑪液体ヘリウム貯槽 (中央・奥)
Wessington社製 10,000L
蒸発率 0.3%/day



⑬遠心式ヘリウム汲上ポンプ
20 L/min 120rps



⑭回収ガスホルダー
70m³ × 2基 (中・右)
⑮⑮-2バッファータンク
16m³ × 1基 (左) ・ 35m³ × 1基



⑭液体窒素貯槽 蒸発率 0.25%/day
20,000L × 4基 (内1基 研究室専用)
10,000L × 1基 (研究室専用)



⑮純ガスカードル
140m³ × 2基、175m³ × 5基

