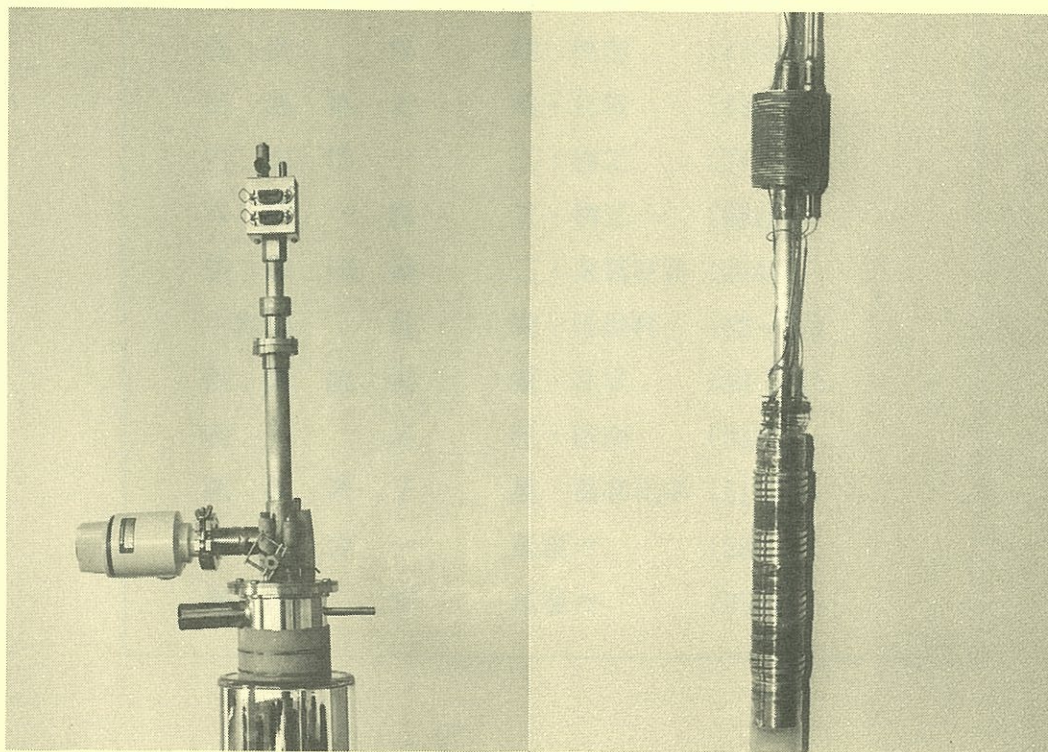


# 低温センターだより

第 16 号

1993 年 1 月



東 京 大 学  
低 温 セ ン タ ー

## 目 次

スイス・セルン訪問記	低温センター 早坂 洋	1
金属と固体ヘリウムの塑性変形	東京工科大学 鈴木 秀次	4
第3音波とアンダーソン局在	物性研究所 河野 公俊	9
簡易型希釈冷凍機の試作	低温センター 大塚 洋一、 内山 隆司	15
液体ヘリウム・液体窒素の供給量の推移	低温センター 佐藤 幸一、 坂本 優	21

表紙写真：簡易型希釈冷凍機（18ページ第2図参照）

おことわり

低温センター第15号の表紙に用いました図は金属材料技術研究所の緒方氏らによるものでした。

## スイス・セルン訪問記

低温センター 早坂 洋  
(内線 2853)

コワントラン空港で帰りの便のリコンファームを行うため、航空会社の窓口に行った。

“I want to reconfirm my flight. Flight No.....” ガイドブックに従って氏名、帰りの航空便の日時、便名をたどたどしい英語で告げたが、リコンファームの発音が相手に通じない。窓口嬢が“あっちのカウンターへいけ” “いや、こっちじゃなく3番窓口へ” 空港のロビーをあっちこっち、ただただ右往左往するだけ。“なんて不親切な窓口嬢なんだろう” 一人ぶつぶついながら、たどりついたところが一番最初に行ったカウンター。

昨年、9月27日から10月5日までの9日間、海外出張という幸運に恵まれ、スイスに行った。

当日、成田を定刻に出発したKLMオランダ航空KL862便は、たくさんの『不安という荷物』を抱えて乗り込んだ私を、少しの揺れもなく12時間、距離にして約10,000kmの道程を、無事、最初の寄港地であるオランダアムステルダム、スキポール空港へと運んでくれた。ここから目的地であるジュネーブまでは、あとわずか、レマン湖名物の140mの高さにまで噴き上げるといふ大噴水が、私を歓迎してくれるだろう。

スキポール空港を発って1時間25分、その大噴水が、眼下に見えてきた。

東京大学低温センターは学内共同利用施設として、昭和42年に発足し、液体ヘリウムの製造、供給、液体窒素の供給を主な業務にしている。液体ヘリウムの供給量は、現在の液化機が導入された昭和50年に7,550ℓだったのに比べ、平成3年度には49,534ℓになり6.6倍も増加、ここ4、5年をみても毎年10～20%も増加している。液体ヘリウムを学内の研究室に必要な量を安価にかつ安定に供給するためには、ヘリウム液化機、精製機の保守、管理を綿密にしなければならない。と同時に供給量の増加に対処するため供給方法の改善も求められている。又、当センターと各研究室の間で液体とガスのやりとりを一つの閉サイクルのなかで行っているが、このサイクルを円滑に運営して行くためには総ヘリウムガス量4,000mlが必要である。この大量のガス管理も重要な仕事になっている。

当センターは、国内では大型液化装置といわれている、130ℓの液化機を設置しているが、諸外国には、アメリカのフェルミ国立研究所にある4,800ℓ、シティズサービス社の2,400ℓ

をはじめイギリスのペトロカーボン社の1,000姉という桁違いに大きいヘリウム液化機もたくさんある。今回訪問したCERN（欧州原子核研究機構）もそのうちのひとつである。

CERNは、ジュネーブの中央駅、コルナバン駅よりさらに西へバスで20分、フランスとの国境にあり、スイスの西端に位置している。

ここでは、ヘリウム液化機、冷凍機あわせて14台が稼働している。ヘリウム液化機の使用目的、稼働状況、液体ヘリウムの供給方法等について広く深く学び、今後の低温センター運営に反映したいというのが訪問目的である。

今回お世話していただいた駒宮助教授はじめ4人の先生方が常駐している理学部付属素粒子物理国際センターは、ここCERNのメイラン地区にある。

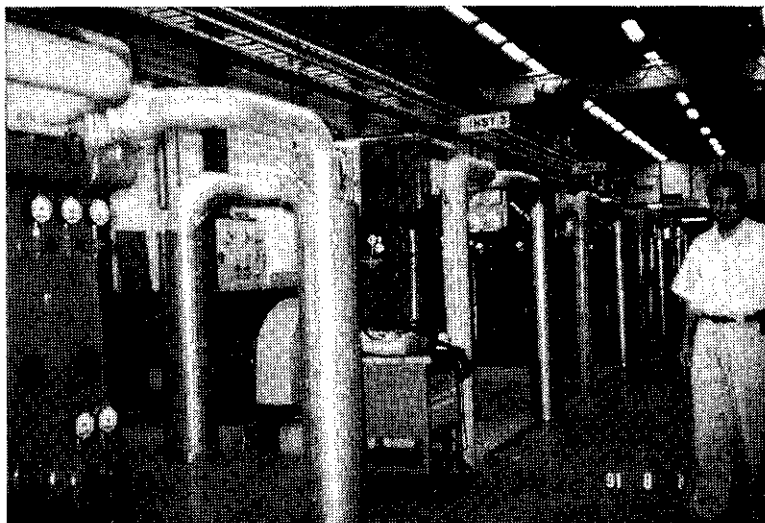
CERNには、円周長26.66km、電子、陽電子の粒子を衝突させるLEPという円型加速器、同じく円周長6.911km陽子、反陽子の粒子を衝突させるSPSという円型加速器がある。1989年7月より運転を開始、現在は55GeVのエネルギー領域で実験を行っている。今後の計画として1994年初頭までに約200個のスーパーキャビティ（超伝導加速空洞）を用いて、55GeV～90GeVまでのエネルギー領域で電子、陽電子の衝突実験を行うLEP200計画があり、さらに将来計画として、（1998年稼働予定）LEPのトンネル内に建設計画中の陽子、陽子の衝突点、電子、陽子の衝突点を設け、最大エネルギー14～16TeVを目標としているそうである。

さて、その遡大な計画を遂行するためには、液体ヘリウムが必要不可欠である。現在CERNには、14台のヘリウム液化機（冷凍機）があり冷凍能力は合計8.6kW/4.5Kである。

今回は、各ポイントにそれぞれ設置されている液化機のうち2カ所ほど見学をさせていただいた。最初に見みせていただいたのは、理学部物理学科の藁輪助教授より紹介していただいた、名大偏極ターゲットグループ、岩田先生の実験室である。実験室は、プレヴァッサン地区にあり、駒宮先生の居室からは、車で約15分の距離にあった。岩田先生の案内で完全自動運転というスルザーブラザーズ社のヘリウム液化機TCF200型を見せていただいた。この液化機は 運転開始から停止まで人の手をわずらわずに済むように設計されている。液体ヘリウム容器（CD社200ℓ）の中の液体ヘリウムの残量が、容器容量の60%（120ℓ）になると自動的に液化機のスイッチが入り、液化運転が始まる。液体ヘリウムが満杯になるとセンサーが働き、自動的にスイッチは切れ、液化運転は終わる。このように液化機は、すべてコンピュータ制御され、無人運転を可能にしている。コンピュータ制御室と圧縮機は、同じ建物に同居し、液化機のコールドボックスとは500m程離れたところにある。圧縮機とコールドボックスを結ぶ配管は、敷地内を通る共同溝のなかで接続され

ている。従って、定常運転圧力16barに達するまでに、運転開始後、数分かかるそうである。液化のためのヘリウムガスは、プレヴァッサン地区だけで常時60,000m<sup>3</sup>貯蔵している。潜在液化能力は350tである。

次に加速器技術部門、低温グループの責任者であるシュミット博士に会い、稼働中の液化



機を見せていただいた。そこには初めて見るK-165-3Aという3段圧縮の圧縮機が設置してあった。最大吐出圧18barということであったが、その日は1段、2段、3段の吐出圧がそれぞれ3bar、7.4bar、16barで運転をしていた。流量3,128t/h、消費電力646kWは、当センターの圧縮機の約3倍、いかに大きい圧縮機であるか、理解していただけると思う。圧縮機から発生する振動の防振は、基礎の上に丸い形をしたゴムを15個並べ、その上に圧縮機を乗せてゴムに振動を吸収させていたようである。効果のほどは、未確認（LEP200計画の工事をしていたため、振動の発生源がいたるところにみられた）である。しかし基礎に触れてみても、振動が感じられなかったので、簡単な構造の割には、いい結果が得られているのではないだろうか。

現在CERN全体の冷凍能力は8.6kW/4.5Kであるが、1994年初頭までに48kW/4.5K、さらにLHC（Large Hadron Collider）計画までには、144kW/4.5Kまでグレードアップをしていくそうである。これらの計画をカバーするための冷却システムは更に大型化していくであろう。そしてそのうちの一部は既に発注済みということである。

セルンの訪問日程は、短かったのですが、駒宮先生、そして低温センターの皆様はじめ多くのかたがたの温かいご支援を賜り満足のいく時間を過ごすことができました。ほんとうにありがとうございました。この経験を無駄にしないように今後の低温センターの運営に役立てたいと思います。

# 金属と固体ヘリウムの塑性変形

東京工科大学 鈴木秀次

1972年頃から約10年間私は東大理学部物理学教室で固体ヘリウムの塑性変形の実験を行った。その前の約30年は金属合金の塑性変形や放射線損傷など古典的な結晶中の格子欠陥に関する研究を行っていたのであるが、固体ヘリウムの塑性変形の研究を始めたのは次の理由からであった。液体ヘリウムとくに超流動の理論には前から興味を持っていたのであるが、理論の前提に納得し難いものがあった。Landauの液体Heの理論を知るに及んで、これらの理論で納得し難い点は量子性が著しい系では1粒子近似が成り立つということを暗黙の内に認めている点であることに気が付いた。固体と変わらぬ粒子密度を持つ

系で多粒子間の強い相関をまともに考えることなしに、流動のような原子の相対運動を考えられるということは金属などの塑性変形で確立されていた考えと相容れないものであった。それで液体ヘリウム中の原子の運動を知る実験を考えてみたが、実行可能な方法は思いつかなかった。しかし結晶の塑性変形の実験を行えば、原子がどのような運動をしたか解析する方法を考えることは出来る。しかし固体ヘリウムは25気圧以上の高圧下でしか存在できない。その圧力を伝え得る流体はヘリウムしかないから、自由な表面をもち熱平衡状態にあるヘリウムの結晶は融点においてしか存在できない。そこで図1<sup>1)</sup>のように金属の研究に用いた極低温引張り試験機を改造し、高圧のヘリウム試料室内に細い針金で鋼球を吊り下げておいてヘリウムを固化させ、針金を一定速度で引っ張り上げるときに必要な力を測定する方法をとった。鋼球を移動させるのに

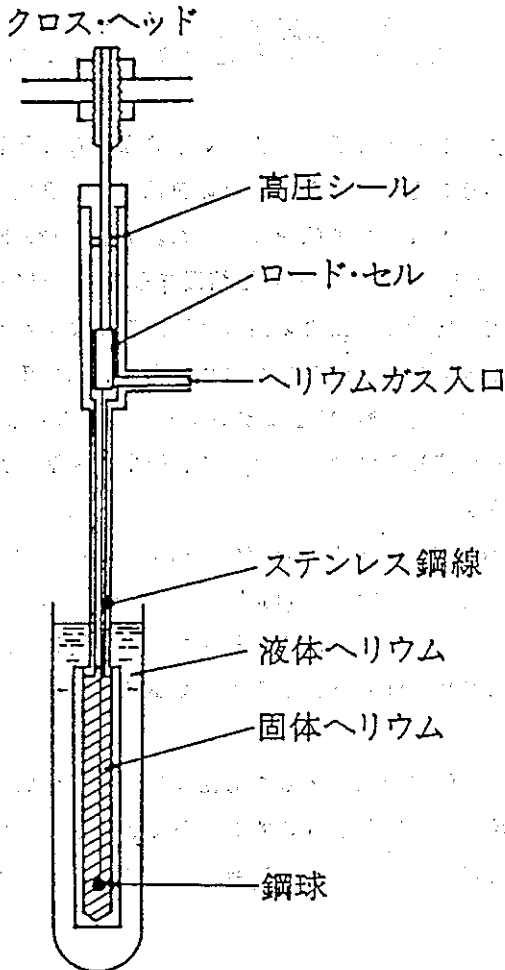


図1 固体ヘリウムの塑性変形に用いた装置

必要な力は針金につながれたロードセルで測定し、ロードセルは高圧シールを通して外部のクロス・ヘッドと一緒に移動するようになっている。

この実験を始めた時には、すでに Andreev 達<sup>21</sup>が同じ様な実験を試みていた。彼らは Andreev と Lifshits<sup>22</sup> が指摘した可能性を検討するためにこの実験を行ったのであった。Andreev と Lifshits は固体ヘリウム中の原子空孔が低温でも高濃度で存在する可能性を論じ、それがボーズ凝縮を起こすと固体ヘリウムも超流動を起こす可能性があることを指摘していたのであった。Andreev 達は溶融石英製の試料室内の固体ヘリウム中に高抗磁力の Pt-Co 合金球をいれ、超電導磁石を用いて動かそうとした。球の移動はガラス製魔法瓶の外から観測されたが、 $10^4$ 秒たっても球の移動は検出されなかった。それに対して鈴木の実験では球は針金が切れない限り確実に動き、その過程で力はどのように変化するかを測定することが出来た。ロードセルの出力を記録した一例を図2に示す。まずロードセルが

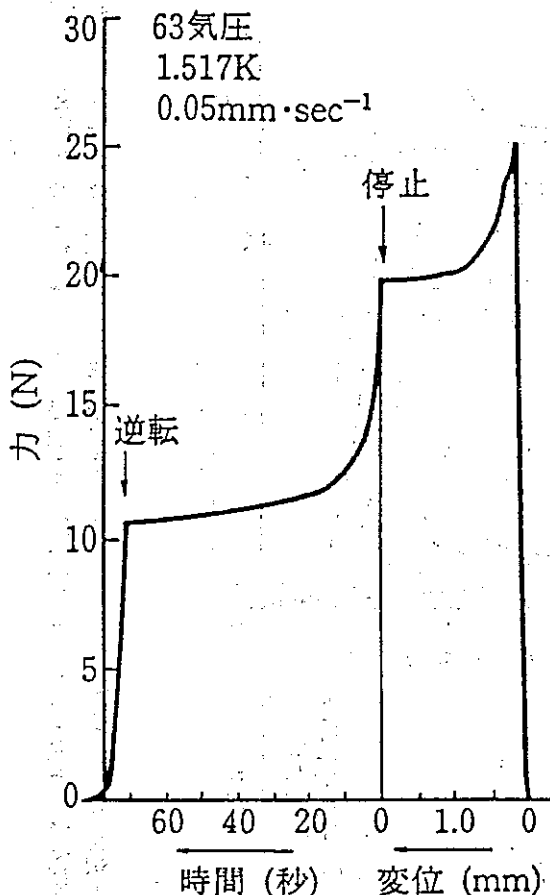


図2 カー時間記録の一例

上昇すると力は急激に上昇し極大を経て減少し始め、徐々に一定値に近づくように見える。ここでクロス・ヘッドの運動を停止すると力はまた急激に低下するが、なかなかゼロにはならない。クロス・ヘッドを逆転して力はゼロになった。この記録の横軸はクロス・ヘッド運動中は球の変位を表し、停止中は時間を表す。球が運動するときには固体ヘリウムが流れなければならない。球を動かすのに使われた仕事は固体ヘリウムを変形流動させるのに使われたと見なすことが出来るので、この関係から変形速度と変形応力の関係が求められる。

この実験を始める前に丁度 MI に入ったばかりの K 君にこの実験の意味を説明し、やってみないかと話したことがある。

K 君は非常に乗り気になってこの実験を始めることを先輩達に話したらしい。そして先輩達にそんな実験をやって何が分かるかと突っ込まれてほとんど答えられなかったらしい。

すっかり落ち込んでいるK君を見て、K君には別の実験をさせることにした。そして固体ヘリウムの実験は私自身で進めることにした。この実験そのものが単純なのでM1の学生にもやれると思ったのが間違いであった。結果の解析まで含めると大変難しい研究だったのである。塑性変形の原子的過程をこの実験から結論するためには多くの実験結果を解析し、定量的な検討が必要であろうと覚悟していた。それに関する見通しを持つことはM1の学生には不可能だったはずである。

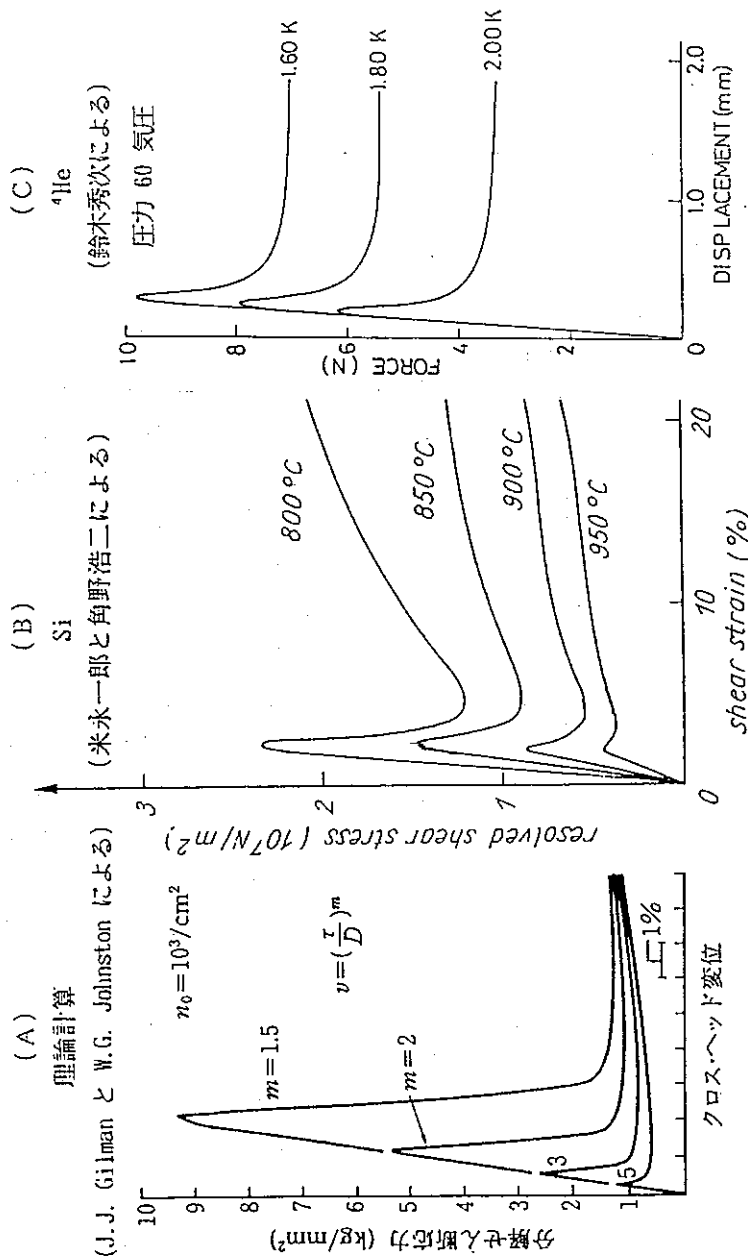


図3 応力-歪曲線の鋭い降伏点現象。(A) Gilman-Johnstonの理論計算 ( $n_0$ は初期転位密度、 $m$ は転位速度の応力依存性を表す指数)。(B) Siの実験例。(C) 固体ヘリウムに関する鈴木秀次の実験結果の若干の例。



しかし誰もやったことの無い実験にはそのための困難はあるがまたそのために予想外に好都合なことが起こるものである。それは図2の変形の始めに現れる鋭いピークである。この降伏点現象は Gilman と Johnston<sup>4)</sup> によって転位の運動によって起こる現象として明快に論じられている。すなわちよく焼鈍された結晶中では転位密度は低く、それらが運動しても変形速度は運動している転位に数と速度に比例するから、転位は高速で運動しなければならない。それには大きな外力が必要である。しかし運動する転位は Frank-Read 源として働いたり交差すべりによって転位を増殖するので、転位密度を増大し、一定の変形速度を維持するのに必要な力は減少するのである。最初の転位密度や転位速度と外力の関係によって降伏点の形状は異なるが、Gilman と Johnston は幾つかの妥当と思われる値や関係を仮定して変形初期の応力-歪曲線を計算し実測の降伏点の特徴をよく表していることを示した。図3 (A) は彼らの計算結果の例である。(B) は Si, (C) は <sup>4</sup>He についての測定例である。Si では降伏点降下が起こった後で変形応力が增大しているが、これは加工硬化が起こっているからである。(A) では加工硬化を考慮していない。He では加工硬化がほとんど起きないために計算結果とよく似ているのである。

この降伏点現象は他の機構例えば原子空孔の流れによる変形などによって説明することはできていない。従ってこの実験で最初の力対変位曲線が測定されただけで、固体ヘリウムの塑性変形は転位の運動によって起こることが確信されたのである。しかし他の人に納得して貰うためにはさらに多くに実験を続けて明確な結論を得ることに努めた。すなわち転位密度の異なるときの降伏点の変化が、Gilman-Johnston の理論のようになることを確かめ、変形応力の温度及び変形速度依存性、bcc <sup>3</sup>He と hcp <sup>3</sup>He で力-変位曲線がどの様になるかなど系統的な測定を行って、全ての実験結果が転位の運動によって変形が起こるとして矛盾なく説明できることを示した。特にこの実験の初期に当時 Munchen 大学に留学して固体ヘリウムの超音波の音速を希釈冷凍機温度で測定していた岩佐君が転位の共鳴振動に起因する音速の異常<sup>5)</sup>を発見したが、帰国後私の研究グループに加わり、超音波を用いて固体ヘリウム中の転位の研究を開始した。そして転位と同位元素不純物の相互作用を調べて、hcp<sup>3</sup>He 中の <sup>3</sup>He 原子は転位と零点振動の振幅だけ原子直径が大きな原子と同じ相互作用をすることを明らかにした<sup>6)</sup>。また bcc<sup>3</sup>He 中のらせん転位は大きなパイエルス力を受けるが、低温ではパイエルス力の 60 % 程度の外力のもとでトンネリングでパイエルス・ポテンシャルを透過することを見いだした<sup>7)</sup>。

これらの結果は量子効果の大きな固体ヘリウムでも金属などの普通の結晶と同じようにその塑性変形は転位の運動によって起こることを示すものである。従って私達の結論は次のとおりである。

量子性の著しい固体ヘリウム中でも、古典結晶で確立されている転位論を中心とする格子欠陥論が適用される。量子性は格子欠陥の運動で、例えば転位のトンネリングのような現象として現れる。量子性が著しくても、例えば転位の運動のように、多数の原子が強い

相関をもって運動する状態を1粒子近似が成り立つような1つ1つの原子のばらばらな運動に変えることはない。

以上の結論をもっと説得力のあるものにするために、東大定年後高エネルギー物理学研究所の放射光を用いて、X線トポグラフィによる固体ヘリウム中の格子欠陥の観察を多くの共同研究者と共に行っている。普通X線トポグラフィで転位を観察するときは回折の動力学的効果を利用してゐる。しかしヘリウムではX線の散乱断面積が非常に小さいので、回折の動力学的効果を期待することは出来ない。回折の動力学的効果なしに転位像を観察するのは困難であると言うのが常識であるが、他方転位像が非常に細い(1 $\mu$ 以下)ので、転位密度の高い場合にも観察可能という利点がある。ただ回折の動力学的効果が無い場合のX線トポグラフィの研究はほとんど行われていないので、回折の運動学的理論に基づいてX線トポグラフィのコントラストの理論から作らなければならない。固体ヘリウム中の転位の写真をお見せするにはもう少し時間が必要である。

#### 参考文献

- 1) H.Suzuki: J. Phys. Soc. Japan 35 (1973) 1973.
- 2) A.Andreev, K.Keshshev, L.Mezhov-Deglin and A.Shal'nikov: Soviet Physics-JETP Lett. 9 (1969) 306.
- 3) A.F. Andreev and I.M. Lifshitz: Soviet Physics-JETP 29 (1969) 1107.
- 4) W.G. Johnston and J.J. Gilman: J. Appl. Phys. 30 (1959)129.
- 5) R. Wanner, I. Iwasa and S. Wales: Solid State Commun. 18 (1976) 843.
- 6) I. Iwasa and H. Suzuki: J. Phys. Soc. Japan 49 (1980) 1722.
- 7) I. Iwasa, N. Saito and H. Suzuki: J. Phys. Soc. Japan 52(1983) 952.

### 第3音波とアンダーソン局在

物性研究所 河野 公俊

(ext. 5201)

不均一媒質中を伝播する波動現象が改めて注目されている。原理的には古典物理の枠内で理解される現象であるが、波の局在という新しい概念が導入されたことで問題意識が新たにされたことと、不純物を多量に含む金属中の電子伝導と関連していることなどが、その大きな原因であると思われる。例えば、光の局在についてはS. Johnの解説<sup>1)</sup>とそこに揚げられている参考文献に見られる通り非常に活発に多くの研究がなされている。マルセーユのグループは水波を用いて1次元不規則媒質中での波の局在を研究し<sup>2)</sup>、同じくフランスのニースのグループは表面弾性波を用いて同様な研究を行なっている<sup>3)</sup>。我々は超流動<sup>4</sup>He 薄膜上を伝播する第3音波を用いてこの現象を研究した。超流動<sup>4</sup>Heを用いることで波の減衰による効果を少なくし、これまで他のシステムでは得られなかった精密な情報を得ることができるようになった。

第3音波は浅水波に類似の現象で、水波との違いは、重力ではなくファン・デア・ワールス力が復元力であることと、数原子層程度の吸着ヘリウム薄膜上を伝播することである。ファン・デア・ワールス力の強さが、固体の種類によって異なるので、平衡状態にあるヘリウム膜の厚さも吸着している固体壁の種類によって異なる。例えば、ガラスとアルミニウムとでは、アルミニウム上のヘリウム膜の方がガラス上のそれより30%ほど厚いと予想される。一方、ファン・デア・ワールス力が固体壁からの距離の冪関数で表されるので、第3音波の音速はヘリウム膜が吸着されている固体壁の種類によらず一定になることが期待される。光や音波の反射などから考えると、音速の変化の少ない所ではほとんど反射されないような気がするが、第3音波では膜厚の違いによっても散乱が起こる。実際には音速もわずかではあるが固体壁の種類に依存しており、音速の差による散乱も存在する。その強さが膜厚を変化させることで調整可能である点も第3音波を用いて標記の実験を行なうメリットのの一つである。

吸着基板の違いによる第3音波の散乱を始めて取り上げたのはC. A. CondatとT. R. Kirkpatrickである<sup>4, 5)</sup>。彼らは2または3種類の物質によって修飾された不均一基板上を伝播する第3音波の散乱現象、特に不規則に変調された基板上での第3音波のアンダーソン局在の可能性について理論的な研究

を行なった。縞状に変調された不均一基板上を縞に直角に伝播する平面波は1次元の波動現象として取り扱うことができる。このような系での第3音波の伝播を記述する波動方程式は電子に対するクローニヒ・ペニー模型にそっくりである。

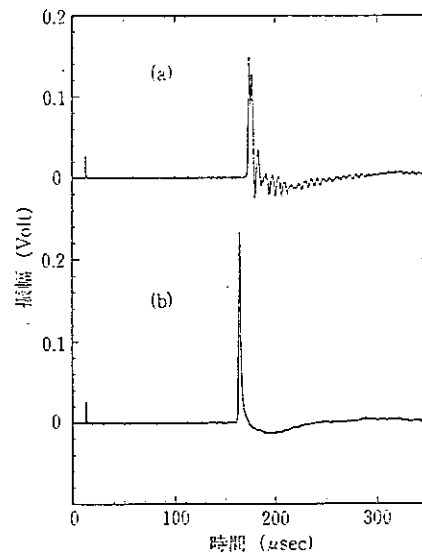
周期格子による波の散乱では、波数によってよく透過する、いわゆるバンドと、ほとんど透過しないギャップとが存在する。格子の周期を1、波の波数を  $k$  とすると、半波長の整数倍が周期に等しくなるところ、つまり

$$kl = n\pi \quad (n \text{ は整数}) \quad (1)$$

の条件が満足されるところでギャップが生じる。(1)式は1次元のブラッグ条件である。

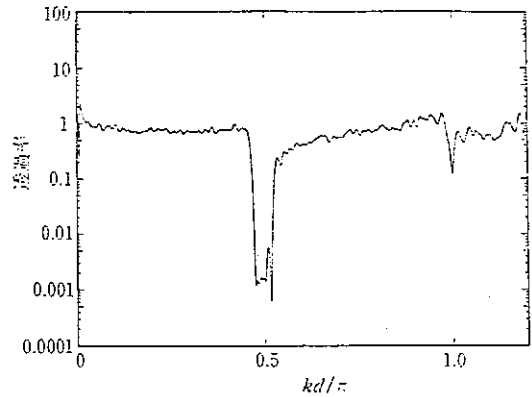
ガラス基板上的アルミニウム膜をフォトエッチングによって加工した、幅80ミクロンの細線を160ミクロン周期で等間隔に50本ほど並べた周期格子を用いて、その上での第3音波の透過スペクトルを測定した<sup>6)</sup>。アルミニウム膜の超伝導転移点近傍での電気抵抗の強い温度依存性を高感度の熱量計として用いることによって、第3音波の伝播に伴う温度変化を検出する。アルミニウム膜を用いることによって散乱体とセンサーとを1度のプロセスで同時に作成できるというメリットが得られる。

透過スペクトルはアルミニウム細線による縞状散乱体のある基板と、散乱体のないガラス基板とを用意して両者の上での第3音波の波形の違いを比較することによって求める。波形を第1図に示す。第3音波はパルス的に励起されて、第1図-aではガラス表面上を伝播し、第1図-bではアルミニウム細線のある領域を伝播した後、センサーで検出される。第1図を見て明らかなように、第1図-bに見られるパルス波形のテール部分に現われたリングングがアルミニウム細線による散乱の効果である。これらをフーリエ変換した後に後者



第1図

のパワースペクトルを前者のそれで規格化したものが透過スペクトルである。透過スペクトルを第2図に示す。この実験ではアルミニウム細線の幅と、細線と細線との間のガラスの露出した部分の幅とが等しい。第2図横軸の  $d$  がその幅である。つまり、細線の周期は  $2d$  となるので、(1) 式の条件は  $kd/\pi = n/2$  となる。第2図を見ると確かに  $kd/\pi \sim 0.5$  にはっきりと透過率のギャップが現われている。ところが、 $kd/\pi \sim 1$  ではギャップが小さくなっている。これは、アルミニウム細線の幅とガラスが露出している部分の幅とが等しいことによる。

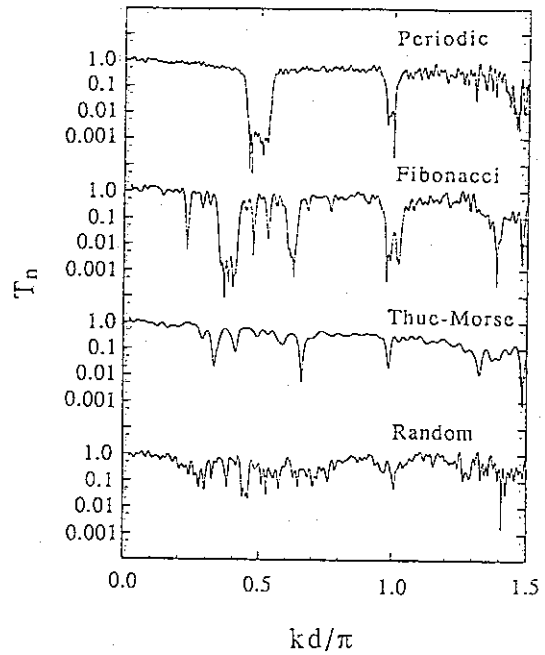


第2図

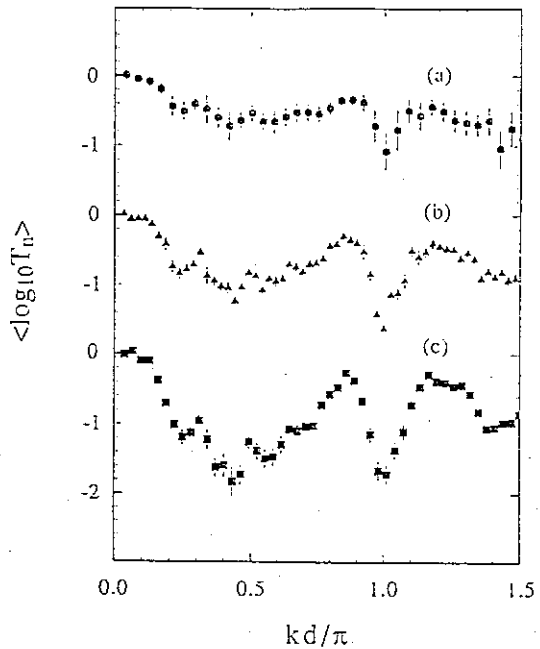
周期格子上の第3音波の透過スペクトル。  
 $k$  は第3音波の波数。

アルミニウム細線を 'A'、それと同じ幅のガラスの露出している部分を 'B' とすると、前述の周期格子は {ABABAB...} という交代列に対応している。では、2種類の要素 'A' と 'B' とから作られる任意の記号列に対応した格子を作ったらどうだろうか。それらの格子中での第3音波の透過スペクトルはどうなるのだろうか。周期列については前世紀末ごろより十分な理解が得られているが、非周期列について色々なことが分かりだしたのは最近のことである。非周期列の中には不規則列の他に特殊な構造をもつものが知られている。例えば、フィボナッチ列やスー・モース列などのように数学的な規則によって生成される規則性を持った非周期列である。フィボナッチ列は最近発見された準結晶と類似の構造を持つと考えられている準周期列であり、1次元準結晶とさえ呼ばれている。1次元準結晶中の波動の伝播は準結晶の電子物性解明の基礎となることもあって興味を持たれている。スー・モース格子もやはり数学的な規則によって生成される記号列で非周期的であるが、準周期列とは区別されている。これらの一連の格子中の第3音波の透過スペクトルを第3図に示す。

フィボナッチ格子の第3音波の透過スペクトル<sup>7)</sup>では、 $\tau$ を黄金分割比として、 $kd/\pi \sim 1/\tau$  (0.618...)と $kd/\pi \sim 1/\tau^2$  (0.381...)にはっきりとしたギャップが見られる。このことは、フィボナッチ(準周期)格子が周期格子と近い関係にあることを示唆している。しかし、フィボナッチ格子での2つのギャップの位置は $1/\tau$ という無理数比によって関係づけられており、周期格子の場合とは明らかに異なっている。また、 $kd/\pi \sim 1/\tau^3$  (0.236...)、 $kd/\pi \sim 1/\tau^4$  (0.145...)にもディップが見られ、フィボナッチ格子の自己相似性が反映されている。透過スペクトルの構造にはさらに、入れ子構造が見られる。これらの構造の現われる位置は理論的に期待される $kd/\pi \sim m + n\tau$  ( $m, n$ は整数)とよく一致している。スー・モース格子では<sup>9)</sup>、ギャップと言う程の構造はもはや見られず、いくつかの小さなディップ構造が見られるだけである。これらの構造の間には、 $1/2$ と $1/3$ によって特長づけられる関係がある。スー・モース格子では全体に透過率が高く、前の2つの格子と比べて、より均一な媒質であることが分かる。



第3図



第4図

第3図の一番下の曲線は、ランダムに'A'と'B'を並べた不規則格子上の第3音波の透過スペクトルである<sup>9)</sup>。非常に豊かな構造を持つが規則性は

認められない。別の不規則列から格子を作れば別の構造が現われるが、個々のサンプルに依存しない特徴として以下の性質を不規則格子全般にわたるものとして揚げることができる。

- 1) 長波長 ( $k \sim 0$ ) では透過率は1に近く透過スペクトルは上に凸である。
- 2)  $kd/\pi \sim 0.5$  と  $1.0$  のあたりに極小がある。
- 3)  $kd/\pi \sim 1$  の両側で透過率が大きくなる場所がある。

これらの状況は複数のサンプルにわたって透過スペクトルの平均を求め、サンプルに依存したゆらぎを取り除くことによってさらに明瞭になる。第4図はそのような平均操作を施した後の透過スペクトルである。1) から3) の性質がはっきりと認められる。第4図において(a), (b), (c)の3つの曲線はヘリウム膜厚の違いに対応しており、膜厚が厚いほど散乱が強いことを示している。

1) - 3) の性質は古典波のアンダーソン局在として理解することができる。とりわけ2) の条件を満たしている波数領域では局在効果が大きい。次の表式を用いて、第4図から局在長 $\xi$ を実験的に求めることができる。

$$L_s/\xi = -\langle \ln T_n \rangle \quad (2)$$

ここで $L_s$ はサンプルの長さ、 $T_n$ は透過率である。例えば、第4図(c)で局在のもっとも強いところで局在長は $0.4L_s$ 程度である。つまりこのような条件のもとでは、第3音波は実質的に不規則格子中に局在したといってもよい。一方、1)、3)の領域では透過率は1に近く、局在長はサンプル長より長い。このような領域では実験と理論との定量的な比較は難しいと考えられる。なぜならば、理論は無限に長いサンプルを対象としているからである。それにもかかわらず、1)の性質は理論的な予測 $1/\xi \sim -k^2$ とよく符合している。

「1次元においては、どんなにわずかでも不規則性があると波動関数は局在する」という記述を目にすることがあるが、その原因が波動現象における多重散乱と干渉効果にあるとすると3)の事実と矛盾する。3)の現象は共鳴透過と呼ばれる、不規則系に特有の現象で、不規則さの中に残っている何らかの規則性に由来している。我々の実験の場合、不規則格子を構成しているアルミニウムとガラスの部分がある一定の幅 $d$ を持ったユニットA, Bからなっていることが残された規則性となっている。この幅 $d$ と半波長の整数倍が一致したところでその散乱体は実効的に透明になってしまう。第4図でこのピークが2つ存在するのは、アルミニウムとガラスの上で第3音波の音速が異なることに対応している。 $kd/\pi < 1$ のピークはアルミニウム上で上記の

条件が満足されたことに対応し、 $kd/\pi > 1$ のピークはガラス上でのそれに対応している。つまり、一般的に不規則媒質中で波は局在するが、上記のような規則性が残されている場合にはある条件のもとで波はサンプル全体に拡がった状態をとる。理論的にはこのような状態はある特定の波数でのみ起こり、それから少しでも離れると局在長は有限となり、波は局在することになるが、第4図の透過スペクトルを見れば、透過率の高くなる波数領域は相当に広く、共鳴透過が支配的となる波数領域の存在を無視するわけにはいかないことが分かる。

以上のように、周期格子、フィボナッチ格子、スー・モース格子、不規則格子中の波動現象の研究手段として超流動ヘリウム膜中の第3音波が成功をおさめたことを紹介した。とくに不規則格子中の波動の局在と共鳴透過についての実験がはじめて可能となった。低温物理の伝統的なひな形の一つである超流動ヘリウムの実験からこのような突破口が開けたことが低温物理の懐の深さを明らかにできたのであれば、この上ない幸せである。

共同研究者である仲田悟基君、楯原良正氏、大塚洋一氏に感謝いたします。この研究は三菱財団の援助を受けて行なわれました。

#### 参考文献

- 1) S. John (家 泰弘 訳) : パリティ Vol.06 No.10 (1991) 14.
- 2) M. Belzons, E. Guazzelli, and O. Parodi: J. Fluid Mech. 186 (1988) 539.
- 3) L. Macon, J.P. Desideri, and D. Sornette: Phys.Rev. B 44 (1991) 6755.
- 4) C.A. Condat and T.R. Kirkpatrick: Phys. Rev. B32 (1985) 495.
- 5) C.A. Condat and T.R. Kirkpatrick: Phys. Rev. B32 (1985) 4392.
- 6) K. Kono, S. Nakadda, and Y. Narahara: J. Phys. Soc. Jpn. 60 (1991) 364.
- 7) K. Kono, S. Nakada, Y. Narahara, and Y. Ootuka: J. Phys. Soc. Jpn. 60 (1991) 368.
- 8) K. Kono, S. Nakada, and Y. Narahara: J. Phys. Soc. Jpn. 61 (1992) 173.
- 9) K. Kono and S. Nakada: Phys. Rev. Lett. 69 (1992) 1185.



## 簡易型希釈冷凍機の試作

低温センター 大塚 洋一、  
内山 隆司  
(内線2860, 2853)

### I. はじめに

希釈冷凍温度域のいわゆる極低温での実験では実験に要する時間が長くかかり、試料のマウントから数えると実験終了までは2日から3日以上を要するのが普通である。これでは実験をちょっと希釈冷凍機で行なおうという気はなかなかおきない。また試料を交換するために、実験の度に大きな冷凍機の低温気密部分を破り、また組立てなければいけないなどという実験装置は洗練されているとは言い難い。実験の長時間化の一因は、装置が普通の液体ヘリウム温度でのクライオスタット等と比べると大掛かりであり、取扱が複雑であることにある。実験時間を短縮するために、冷凍機を運転しながら試料交換の出来るトップローディングという方法も考案されているが、装置自体はさらに複雑で大きく高価になる。また試料だけを次々に交換しては測定すればすむという研究はそう多くはないと思われる。

装置の大型化は到達温度を下げるためにやむを得ない面もあるが、逆に到達温度がある程度犠牲にしても、手軽に実験できるならば十分に利用分野があるはずであると考へ、この方向での試作を行った。試料を液体ヘリウムの中に浸けて測定できるような実験、たとえば電気抵抗、ホール効果などの実験を想定し、試料のマウントから終了まで1日のうちに無理なく完了できることを目標にした。何度かの試作によって、現在連続運転モードで180mK、ワンショット運転で92mKを得ている。この温度はとても十分とは言えないものの、液体ヘリウム3実験とほぼ同じ感覚で、その約1/5の温度が得られており、かなりの分野の実験に有用であると思われる。またクライオスタットも小型であり、1回当りの液体ヘリウム利用量は3リットル程度に過ぎない。ガス操作系も油回転ポンプのみを使用したものであり、普通のヘリウム3実験用の操作系と大差ない簡単なものである。

### II. 基本設計

希釈冷凍機を使った実験は時間が掛るのであるが、これを作業順に検討しよう。一般的な作業手順は以下の様なものである。

(1) 前回の実験終了の状態から、デューワーを外し、インジウムオーリングで気密を保たれた断熱真空容器を外す。試料が混合器中にあるのなら混合器の気密も破り試料を交換する。

(2) リード線などの確認をした後、再び(混合器)、断熱容器をインジウムオーリングを使って取り付ける。

(3) 取外した場所が液体ヘリウム温度になる場所であり、もしリークがあると全く

温度が下がらないため、リークがないことをリークディテクターを使って確認する。

(4) デュワーにセットし真空配管を行う。

(5) 希釈冷凍機本体、1 Kポット、断熱容器及びそれらの配管を真空排気する。特に希釈冷凍機本体と1 Kポットについては空気等の残留ガスを嫌うのでヘリウムガスでパージしては排気するというフラッシュ操作を数回繰返す。

(6) 本体と断熱容器に少量のヘリウムガスを封じる。1 Kポットは大気圧以上のヘリウムガスで加圧する。

(7) デュワーに液体窒素を入れ予冷する。

(8) 液体窒素を押し出し、液体ヘリウムを汲み込む。

(9) 断熱容器中のヘリウムガスを排気する。

(10) ポットを減圧し混合ヘリウムガスを導入、液化する。

(11) ヘリウム循環系のポンプを動かし、希釈冷凍運転に入る。

(1、2)での問題点は低温気密シールを外すことにある。もし低温部分の気密をいじらずに試料交換できたら楽であろうし、また(3)のリークテストも不要となる。

(7、8)では少量の熱交換ガスを使って熱容量の大きな冷凍機本体を予冷するために時間が長くなる。かといって多量の熱交換ガスを使うと、(9)での排気に長時間を要することになってしまう。たとえ少量の熱交換ガスしか使わなかった場合でも

(9)には3時間程度は必要である。この排気時間はひたすら待つだけであり、もっとも無駄な時間に思える。

時間短縮のためはまずこの2点、つまり試料の交換は低温気密部分を破らずに出来ること、断熱真空部分に熱交換ガスを入れないことを実現する必要があると考えた。前者については室温部分で試料の交換が出来るようにすれば良い。後者では交換ガスを入れずに如何に本体を十分低温まで予冷するかを考えれば良い。

試作した冷凍機の基本図を図1に示す。冷凍機全体は太目のステンレス管の中に収める。この管はヘリウム循環の排気管を兼ねる。管の下部は2重管になっておりそのすきまが断熱真空部となる。この2重管の中に中空のプランジャーを入れることによって、これを2つの部分に分け、プランジャーの下部を混合器として、上部を分溜器として使うというのが基本的なアイデアである。従って、2重管部分の内壁は希釈冷凍

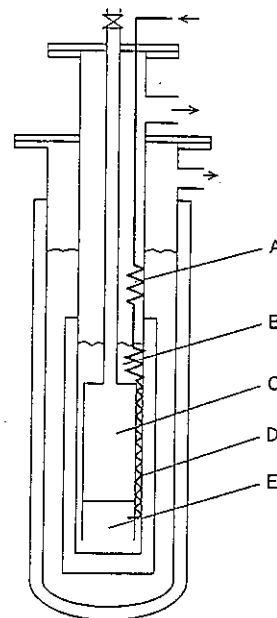


図1：アイデア図

A：凝縮器、B：分溜器

C：プランジャー

D：熱交換器、E：混合器

機の希釈相部分の外壁としての働きをし、ステンレス管は分溜器の排気管を兼ねることになる。2重管には、フランジャーのほか、循環ヘリウムの導入バルブ、凝縮器、インピーダンス、熱交換器、混合器など希釈冷凍機内の<sup>3</sup>He濃厚相(C相)部分の全てが挿入される。これらを一体にしたインサートは上部のフランジから抜き差しされる。また、試料、温度計、リード線などもインサートに取り付けられる。循環ヘリウムガスはインサート上部のバルブから入り、凝縮器で液化し、インピーダンスと熱交換器を通過して混合器に入る。混合器内で希釈冷凍された液体ヘリウムは液面まで導かれ蒸発・排気・循環される。フランジャーは、液面のある2重管上部の分溜器部分と下部の混合器部を熱的に隔離するためにあり、液体ヘリウムはフランジャーとステンレス管の隙間を移動し、ここで熱交換を行う。

インサート導入用の上部フランジは室温にあり、その気密はゴムオーリングで保たれる。このため試料の交換は簡単であり、また低温リークの恐れもない。時間短縮のための第2の要請を満たすために2重管の隙間は室温で真空に封じ、ここには熱交換ガスを一切導入しない。インサートは熱容量が大きいので、ヘリウム温度まで予冷を有効に行なうことが必要である。予冷時にはインサートを2重管部分の上まで上げておき、液体ヘリウムのトランスファーが終了してから所定位置まで下ろすという手順でこれを実現することにした。ステンレス管自体は本来ヘリウムが循環する場所であるため、予冷が速やかに行われるようにこの部分に大量の熱交換ガスを使っても問題を生じない。この方法では2重管の内管は十分な予冷がなされないが、内管は薄肉ステンレス管で出来ており、熱容量が小さいためヘリウムのロスになったり時間を費やしたりする原因にはならない。

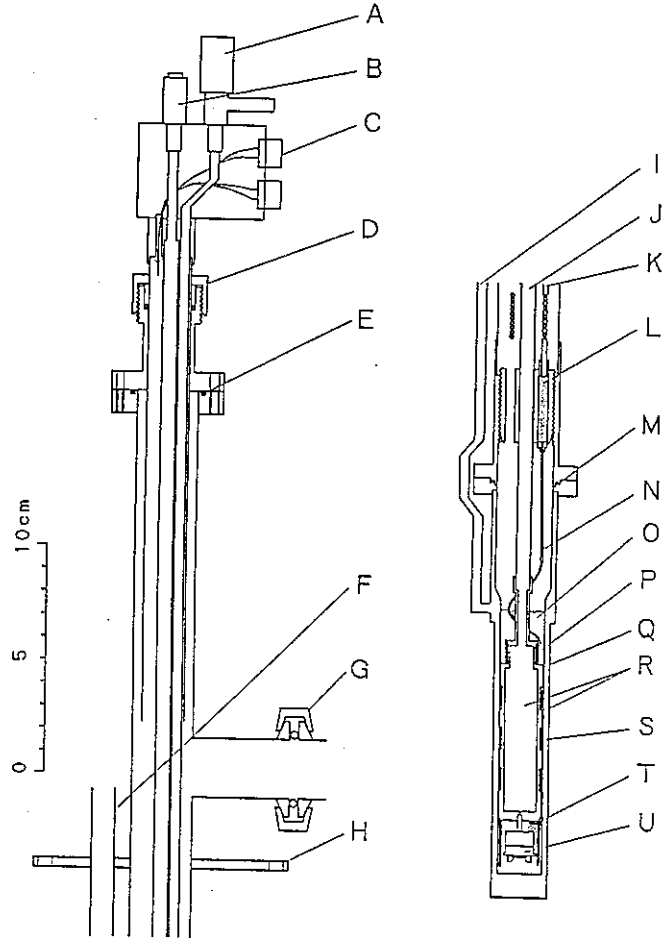
以上の冷凍機構造はTube-in-tube式熱交換器をもつ通常の冷凍機と変わり無い。ただ分溜器と混合器が太いD相でつながっており、これによる熱流入がどの程度に押えられるかが、性能を考える上で重要である。ステンレス管の直径を20mm、分溜器と混合器の距離を50mmとし、混合液の熱伝導率を用いて見積もると、充填筒との隙間が1mmであるとしても混合器への熱流入は60μW程度である。実際は伝導熱の多くは循環混合液によって吸収されるはずであり、かなりの低温がえられてもおかしくない。

### III. 装置の実際

図2に作製したクライオスタットを示す。使用デュワーは内径60mm、長さ1000mmのガラスデュワーである。循環ヘリウムを液化するためには減圧ヘリウム温度を作ることが必要である。1Kポットでこの液化を行わせるのが一般的であるが、構造と取扱が複雑になるのは避けられない。ここでは簡便であることを最優先させ、ヘリウム槽全体を減圧することにした。ヘリウム槽と熱接触をとるためインサートの途中に壁とのネジ接合を設けた。オスネジに穴をあけ内部に銅粉をプレスし凝縮器とした。減圧ヘリウム槽は超流動状態にあるため、液面がネジ部より低下してもフィルムフローによりネジ部分は1Kに冷やされ、凝縮器は問題なく動作する。インサートは室温部のフランジから気密を保つ。また予冷時にインサートを上下するためにウイルソンシールを設けてある。

図2：希釈冷凍機

- A：帰還He用バルブ
- B：シールオフバルブ
- C：コネクター
- D：ウィルソンシール
- E：オーリング
- F：He汲み口
- G：バルブとのジョイント
- H：フランジ
- I：断熱真空部排気管
- J：プランジャー排気管
- K：帰還He管
- L：凝縮器
- M：インジウムシール
- N：インピーダンス
- O：分溜器
- P：熱交換器
- Q：プランジャー
- R：真空
- S：熱交換器
- T：混合器
- U：試料ホルダー



インサートの低温部分は主に充填筒の形状を変えたものを数種類試みた。第1号機では直径17mmのステンレス管に外径0.5mm、内径0.3mmのキュプロニッケル細管約5mを巻きつけた。2重管内管の内径は19mmであり、希釈相の隙間は細管を除くと0.5mmとなる。第2号機では充填筒の直径を17.7mmに太くし、細管を巻いた状態で辛うじて内管に挿入できる程度にした。第3号機、第4号機は共に図2の様な構造とした。充填筒は4ヵ所のシムをもつ。シム部分の外径は18.9mmであり、この部分のD相の厚さは、0.1mm以下である。シム部には幅1mm、深さ1mm、ピッチ5mmの螺旋状溝を切り、キュプロニッケル細管及びリード線はここを通した。キュプロニッケル細管は3ヵ所で密に巻き、熱交換を行なわせる。充填筒は3号機では真鍮製、4号機ではステンレス

鋼製である。

リード線は室温部で気密導入され循環ヘリウムラインに沿って混合器まで導かれる。混合器では8ピンのICソケットをつかって簡単に試料交換が行えるようにした。

ヘリウム3循環は150ℓ/分の気密型ロータリーポンプを用いた。ヘリウム槽減圧には500ℓ/分のロータリーポンプを用いた。

標準的な実験手順と所要時間は以下の通りである。

> デュワーに入れたまま上のフランジを開け、インサートを拔出す。試料を交換した後、再びセットする。混合器が2重管部分より上にある位置で固定。(試料が試料ホルダーにマウントされていれば数分で完了)

> 2重管の断熱真空部分、充填筒の内部をロータリーポンプで真空排気し、封じる。(それぞれ15分程度、但し毎回行う必要はない)

> メインバルブ及びヘリウム循環用バルブから本体内部を排気、フラッシュする。(約15分)

> 本体内部にヘリウムガスを100Torr程度封じ、熱交換ガスとする。

> 液体窒素による予冷。(窒素導入後数分で内部も77Kに予冷される。)

> デュワーを逆さにし液体窒素を捨てた後、ヘリウムをトランスファーする。(10~20分、トランスファー終了時には内部もほぼ4.2Kになっている。)

> インサートを所定の位置まで下ろし、ポンプ系とつなげる。

> 本体内部のヘリウムガスの排気(約10分)

> ヘリウム槽の減圧(1.5Kまで約15分)

> ヘリウム3-4ガスの導入、液化(排気口からも導入液化できるので全量液化に要する時間は5分もあれば十分である。)

> ヘリウム循環系のポンプを動かし、希釈冷凍運転に入る。

> 最低温度までの必要時間は30分~1時間。

必要な液体ヘリウム量は約3ℓであり、超伝導マグネット等を使わない場合、最低温度で5時間以上の実験時間が取れる。

#### IV. 実験結果

4種類の試作機の実験結果は次の通りであった。

第1号機の到達温度は約0.5Kに過ぎなかった。但し、蒸発液面のある分溜器温度はこの時1K以上であり、ヘリウムの蒸発潜熱による冷却ではなく、希釈冷凍が実際に起っていることが確認された。この実験では排気系の圧力が間欠的に急上昇し、それに伴って温度が急変するという現象が見られた。希釈冷凍機D相のヘリウム3濃度は低温ほど高く、従って低温ほど液の比重が小さい。重力的に不安定な液体密度分布が間欠的に逆転するのが圧力急変の原因であると考えられる。不安定な液分布を安定に保持する為には隙間を狭くする必要がある。1号機のキャピラリーの周りにナイロン糸を巻きつけ隙間を狭くした所、圧力急変を完全に阻止することはできなかったものの、確かにその効果が見られた。

1号機に比べより隙間を狭くした第2号機では到達温度はone-shot運転で220mKであった。しかし、液相の安定を維持するには依然循環量を高くする必要があり、また狭い隙間にリード線を電氣的絶縁を保ちながら導入するのは困難であった。

3号機では安定性維持の為の狭い隙間と熱交換器部分とを分離した。この結果連続運転で約200mK、One-shot運転で145mKを得た。

4号機では充填筒の材質をより熱伝導率の小さなステンレスに変え、熱交換用細管の長さを長くした。この結果、連続運転で約160mK、One-shot運転で92mKを得た。分溜器ヒーターを動作させない場合には依然間欠的な圧力上昇が見られるものの、4mW程度以上の熱を分溜器に加えると安定に動作する。

## V. まとめと課題

連続運転で約160mK、One-shot運転で92mKを生成できる小型の希釈冷凍機を試作した。構造は簡単である。特に問題が発生しやすい低温部の溶接箇所は大変少なく簡単に作れる。小型であり、手軽に使い、大変実用的である。たとえば標準型のシールドルームの中でも実験出来る。

循環ガスは超流動ヘリウムのフィルムフローにより分溜器の平衡蒸気圧比以上のヘリウム4を含む。通常の希釈冷凍機では排気ラインにオリフィスを設けたり、積極的にフィルムフローを焼切る事によってヘリウム4濃度を1%程度にしている。今回の冷凍機ではこの対策は全く取っておらず、循環ガスは30%以上という桁違いに多量のヘリウム4を含む。これが現在到達温度を高くしている一因であると考えられる。構造を少し変更することによってフィルムフローによるヘリウム4の混入を減らすことは可能であり、今後この対策を行い、到達温度でより改善をはかりたい。

低温部分を絶縁体(プラスチック)で作ることも試みた。この試みでは充填筒をエポキシ樹脂(スタイキャスト1266)で作り、熱交換の隔壁にはマイラーシートを用いた。大きな圧力変動が運転中に見られ、現在の所芳しい結果を得るには至っていないが、今後この方向の試作も続けたい。

## 液体ヘリウム・液体窒素の供給量の推移

低温センター 佐藤 幸一、  
坂本 優  
(内線2853, 2851)

低温センターが学内研究者に寒剤（液体ヘリウム、液体窒素）の供給を始めてから四半世紀が過ぎた。設立当時の資料を見ると液体ヘリウムに関しては、理学部物理学科、工学部応用物理学科、教養学部基礎科学科、低温センターの極低温研究者の使用量が全供給量の90%以上を占めている。液体窒素に関しても、農学部、応用微生物研究所、薬学部、医学部での試料の凍結用寒剤などの消費の5%を除いた95%が工学部、理学部での消費である。4半世紀の歴史の中で寒剤の利用のされ方も徐々に変わってきたように思われる。低温センター資料に見られる寒剤供給の変遷について振り返ってみたい。

今年度まで稼働してきたヘリウム液化システムは昭和50年度に更新されたもので、液化能力 130 l/h（公称100 l/h）、精製能力 130 ml/hである。これは設立当時の初代システムと比較すると液化能力として4倍、精製能力として3倍である。

この設備で昭和51年度に7,945 l、昭和54年度に14,156 l、そして平成3年度に49,534 lを供給している。つまりこの16年間の伸びは6.2倍ということになる。図Ⅰに見られるように特に昭和61年（1986年）以降平成3年（1991年）に至る増加が著しい。この間、年間供給量にして毎年7,000 lから8,000 l、年率で約20%の増加が続いている。この増加傾向は本年度も続いており、平成4年度前期（4月～9月）の供給量は28,068 lで、平成3年度前期の供給量21,800 lと比較し、6,268 l（約29%）も増えている。昭和61年は高温超伝導発見の年であるが、他大学低温センターの供給量の推移（参考資料 f から k）にはこれほど劇的な変化は見られず、東大に特有な現象と考えられる。

部局別のヘリウム供給量の推移を図Ⅲに示した。昭和50年代から60年代にかけて相対的に工学部の割合が増加している。

工学部・理学部の学科別の供給量（%）の推移（図Ⅲ）に液体ヘリウムの利用分野の変化がうかがえる。昭和60年度には物理関係学科の使用割合が圧倒的であったのに対し、平成3年度には工学部では工業化学科が50%（11,395 l）、理学部では化学科が48%（7,018 l）とそれぞれの学部の半分を占め、化学・材料分野の利用が大幅に増えている事がわかる。この他工学部では電気・電子学科が減少し新たに材料学科が増加の傾向にある。設立時からの大口ユーザの物理工学科は平成3年度の供給量は7,520 lであり、供

給量はなだらかなカーブで増加している。理学部に関しては大口ユーザの物理学科は平成3年度の供給量5,556ℓで昭和50年代初めから現在まで年平均5,500ℓ前後と大きな変動もなく使用量が安定している。

近年、超伝導マグネット使用の分析・計測機器の開発、発展などで利用者の裾野が広がっている。SQUIDにみられるように医学的な利用から地震予知の利用（参考1）、NMRの物理、化学、生物分野への利用、急速凍結装置への利用などに液体窒素同様身近な冷媒として広く利用されてきている。本学でも理学部生物化学科、農学部農芸化学科、応用微生物研究所のNMR装置、農学部農芸化学科植物栄養学、獣医解剖学の急速凍結装置など昭和60年前後からそれぞれ装置が設置され液体ヘリウムを使用するようになった（図II）。

今後も超伝導マグネット使用の機器、装置の搬入が予定されている研究室があり、ヘリウム需要はまだ増加が見込まれている。このような状況のなかで、長年の懸案であったヘリウム液化システムがこの平成4年度に新システムに更新されることになった。内部精製方式で液化能力は150ℓ/h（純度100%）である。なお、液体ヘリウムを1ℓ供給するには1.45ℓを液化（生産）しなければならない。現在（平成4年11月）は週当たり平均約1,300ℓの供給量で液化量（生産量）は約1,900ℓ/週である。

以上から、“ヘリウム”が学問の対象物から、現代社会にしめる石油資源同様、科学・技術発展のための不可欠な資源になっている様子がうかがえる。高温超伝導の機構の解明そして材料化、商品化とその進展ぐあいにより、冷媒としての液体ヘリウムの需要にいつの日かピークが来るのかもしれないが、何れにしても当面は液体ヘリウムの需要増大が続くことはまちがいない。科学技術発展の指標として、液体ヘリウム供給量の動向は重要な要素となってきた。

学内供給用液体窒素は、大型貯槽に製造業者より一括購入し、各研究室の小分け容器（5ℓ～50ℓ）に充填し、トラックにより配達している。低温センター設立当初の3,000ℓ型液体窒素貯槽は昭和53年度に6,000ℓ型に、さらに昭和63年度に17,000ℓ型の貯槽に更新された。つまり現在の貯槽は3代目である。

参考文献aからdによれば低温センター設立当時は集配場所が13箇所50研究室に年間60,000ℓを供給していた。平成2年度からは液体窒素の供給方式も電話予約方式から液体窒素容器の登録方式にしコンピュータによる管理運用をしている。平成4年12月1日までに822台の容器が登録され、登録した研究室数は339室である。平成2年9月の集計と比較してこの2年間で容器個数は139台、研究室数では60室も増加している（表VI）。現在の集配場所は45箇所である。



図Ⅳは液体窒素供給量の順調な増加を示している。この数年間は毎年2%の伸びを示している。部局別供給量の推移(図Ⅴ)や液体窒素容器の登録研究室数の内訳でもわかるように、液体窒素の利用分野は工学部、理学部はもちろんのこと農学部、病院、分院、医学部、薬学部、応用微生物研究所など年々多様化している。

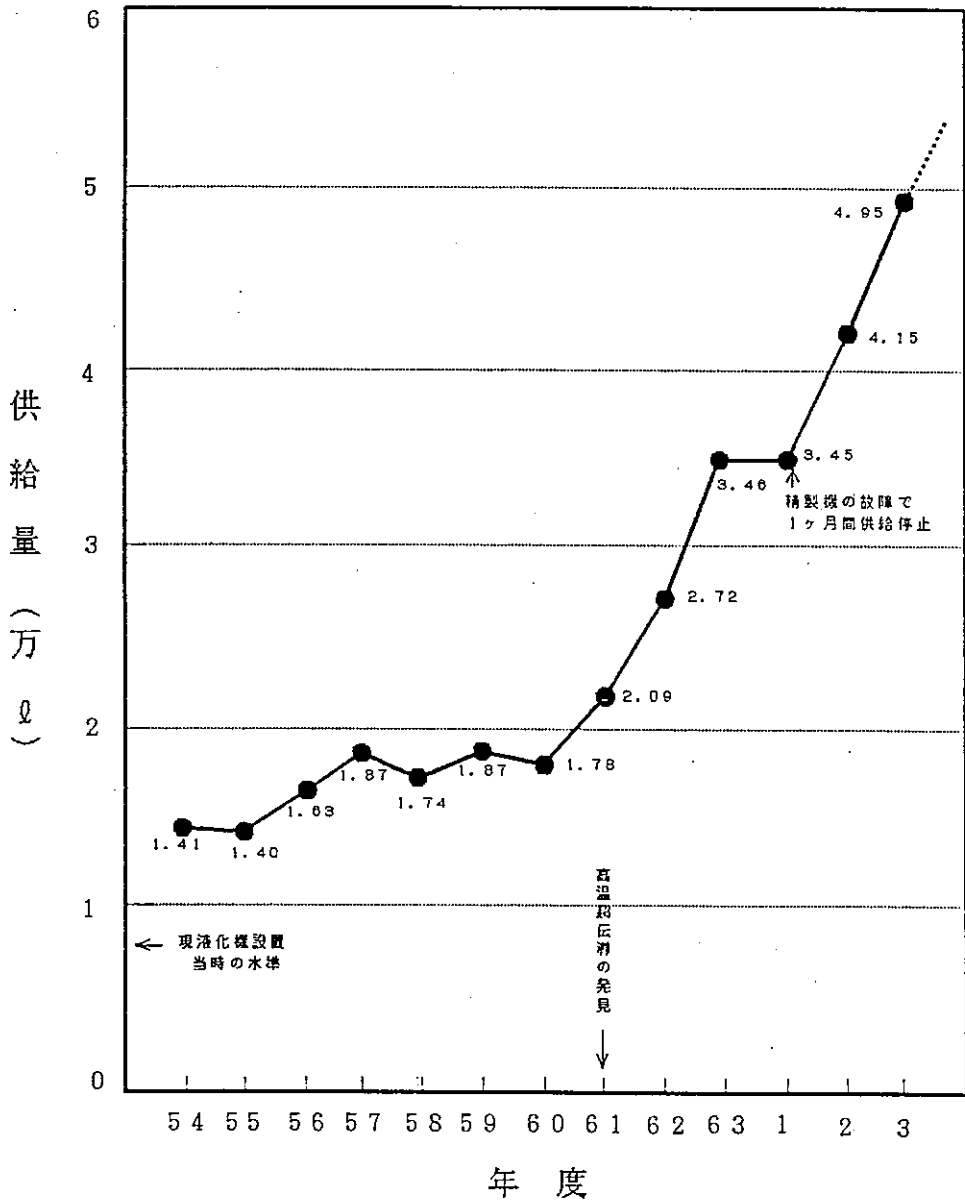
集配する液体窒素容器は2ℓから50ℓまで分布するが、特に10ℓ以下の小型容器の割合が多い。17,000ℓ型液体窒素貯槽からこのような多数の小型容器に汲み出すのは大変手間のかかる作業であり、また供給時のロスも増える事になる。平均して液体窒素購入量は供給量の1.22倍である。平成3年度の学内供給用液体窒素の購入量は442,345ℓ、供給量は366,961ℓ(図Ⅳ)であった。

なお、理学部物理学科の供給のすべてと化学科の一部には理学部物理学科専用の3,000ℓ液体窒素貯槽から物理学科は昭和50年代後半から年平均40,000ℓを化学科は昭和61年度から年平均20,000ℓの供給を現在も独自に行っている。

#### 参考資料・文献

- a. 低温センターだより 第1号 1966年4月(東大)
- b. 低温センターだより 第2号 1968年5月(東大)
- c. 低温センターだより 第3号 1972年9月(東大)
- d. 低温センターだより 第4号 1973年6月(東大)
- e. 要覧 低温センター 1990 平成2年11月(東大)
- f. 大阪大学低温センターだより №78 1992年4月
- g. 東北大学低温センター20周年記念号 1991年
- h. 京都大学極低温研究室月報 各号
- i. 極低温エネルギーセンターだより №17 1991年6月(電総研)
- j. 名古屋大学極低温シンポジウム報告集 1989年7月8日
- k. 極低温システム研究センターだより №5 平成3年12月(東工大)
- l. 超伝導 中島貞雄 岩波新書
- m. 続々物性科学のすすめ 生嶋明、三浦登 培風館

# 液体ヘリウムの供給量の推移



(図 I)

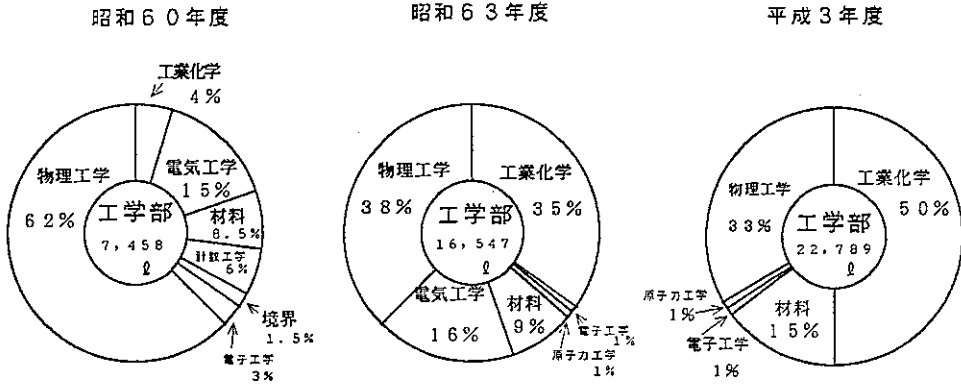
## 液体ヘリウムの供給量 (%)

### ◎ 部局別の年度別推移

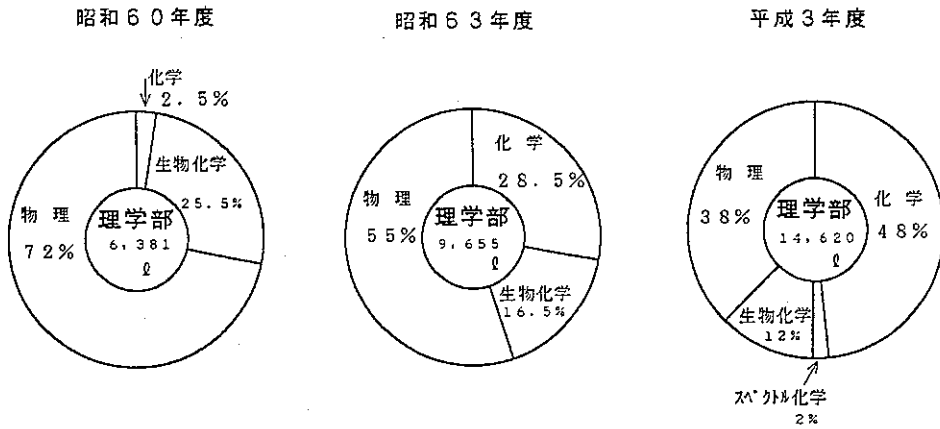
平成3年度 (49,534ℓ)	工学部 47%	理学部 35%	教養学部 12%			低温センター 3% 農学部 2% 応用化学研 0.6% 先端科学技術研 0.3% 原子力センター 0.1%
昭和63年度 (34,858ℓ)	工学部 47%	理学部 28%	教養学部 17%			低温センター 8% 農学部 2% 先端科学技術 2%
昭和60年度 (17,964ℓ)	工学部 42%	理学部 36%	教養学部 13%			低温センター 5% 医学部 2% 応用微生物研 2%
昭和57年度 (18,736ℓ)	工学部 36%	理学部 34%	教養学部 14%	低温		低温センター 10% 医学部 4% 応用微生物研 2%
昭和54年度 (14,158ℓ)	工学部 27%	理学部 53%	教養学部 12%			低温センター 5% 生産技術研究 2% 医学部 1%
昭和51年度 (7,945ℓ)	工学部 22%	理学部 69%	教養			教養学部 8% 低温センター 0.5% 宇宙航空研 0.5%
昭和48年度 (11,250ℓ)	工学部 29%	理学部 38%	教養	原子核研 19%		教養学部 7% 原子力センター 4% 低温センター 3%

(図II)

◎ 工学部の学科別の供給量（％）の推移

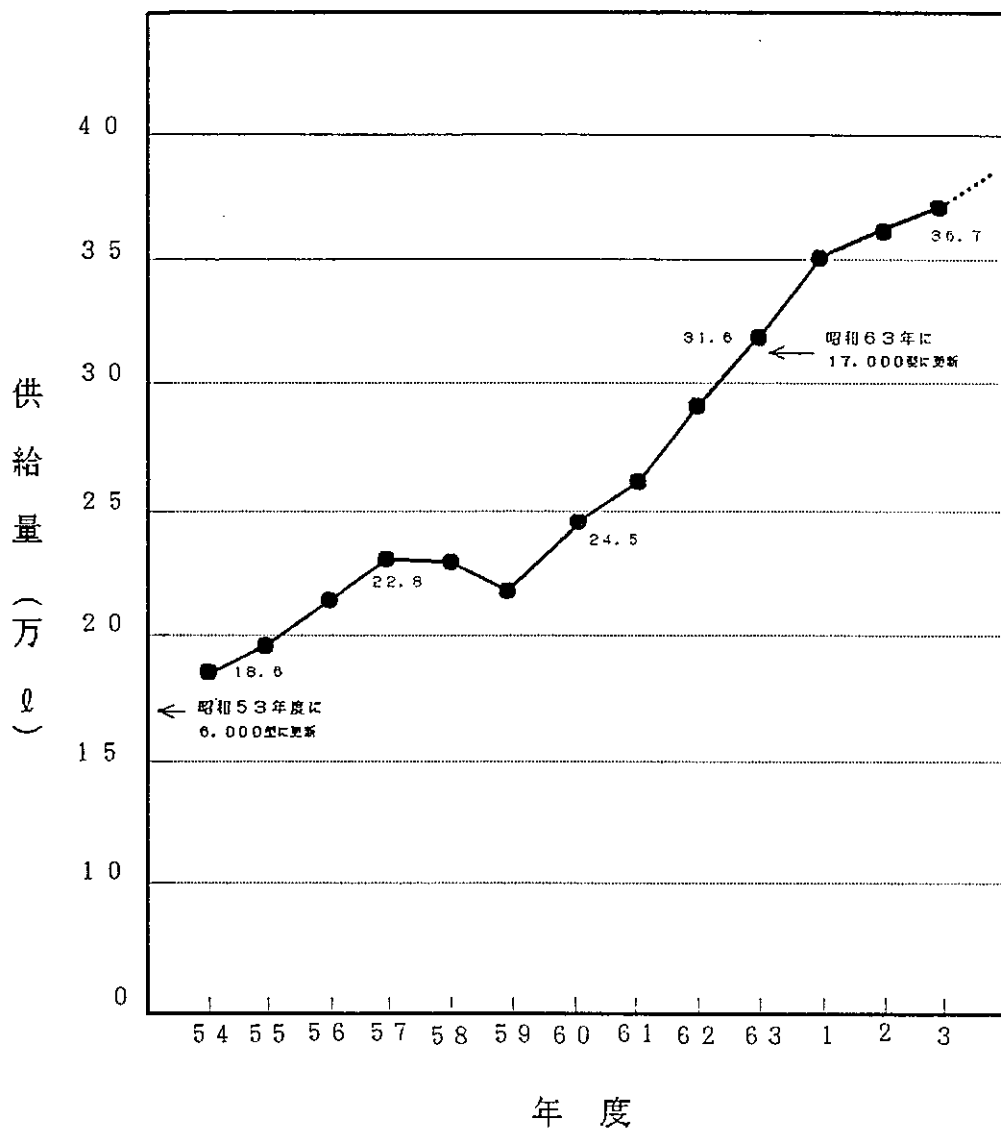


◎ 理学部の学科別の供給量（％）の推移



( Ⅲ )

### 液体窒素の供給量の推移



( 図 IV )

## 液体窒素の供給量 (%)

### ◎ 部局別の年度別推移

年度 (供給量)	工学部	理学部	薬学部	病院	農学部	医学部	原子力センター	応微研	RIセンター	分府 1% 総合試験所 地震研究所 総合研究資料館 環境安全センター 教養学部
平成3年度 (366,9312)	44%	18%	8%	8%						
昭和63年度 (316,4662)	46%	18%	6%	8%	5	6				総合試験所 分院 地震研究所 総合研究資料館
昭和60年度 (245,4982)	45%	23%		6		8				分院 その他
昭和57年度 (227,9872)	49%	26%		4						総合試験所 分院 教育学部 東京天文台
昭和54年度 (186,2872)	53%	26%								総合試験所 応用微生物研 分院
昭和51年度 (132,5542)	57%	24%								総合試験所 分院 環境安全センター
昭和48年度 (117,6162)	59%	21%								総合試験所 分院 教養学部

(図V)

◎ 液体窒素容器の登録研究室数の内訳

\* 2年間で60室の増加。

平成2年9月1日

平成4年10月14日

工学部	82	原子力センタ	8
理学部	40	その他	8
農学部	37		
医学部	20		
薬学部	15		
病院	48		
分院	8		
応微研	12		
教養学部	1		
		合計	279

工学部	92	原子力センタ	9
理学部	45	総合試験所	8
農学部	45	RIセンタ	4
医学部	27	総合資料館	2
薬学部	17	地震研究所	2
病院	58	教育学部	1
分院	12	先端研	1
応微研	13	遺伝子実験	1
教養学部	1	環境安全セ	1
		合計	339

◎ 液体窒素容器容量別の個数

平成4年12月1日現在。

(単位はℓ)

容量	≤5	≤10	≤20	≤30	≤40	≤50	≤200
個数	89	418	91	91	10	91	32

合計	822個
----	------

\* 平成2年9月1日の登録容器は683台であった。

\* 平成2年度の容量別個数は未集計。

\* およそ2年間で139台の増加。

◎ 部局別液体ヘリウム供給先の研究室数

平成元年9月1日

平成4年9月1日

工学部	11
理学部	14
教養学部	5
農学部	2
応微研	1
先端研	1
低温センタ	1
合計	35

工学部	15
理学部	16
教養学部	5
農学部	3
応微研	1
先端研	1
低温センタ	1
合計	43

\* 4年間で8室の増加。

(表Ⅵ)

低温センターだより編集委員会

(1993.1現在)

編集委員長

長沢信方センター長 理・物理 (4181)

編集委員

池畑 誠一郎 理・物理 (4161)

藤森 淳 理・物理 (4126)

田島 裕之 理・化学 (4333)

内田 慎一 工・物工 (7717)

寺崎 一郎 工・物工 (6848)

柴田 浩司 工・金属材料 (7147)

小宮山 進 養・基礎科 (93-453)

佐藤 直樹 養・化学 (93-311)

湯本 昌 医・解剖 (3335)

西沢 直子 農・農芸化学 (5107)

大塚 洋一 低温セ (2860)

島田 宏 低温セ (2861)