

Title	シールド冷凍機を用いた液体ヘリウムクライオスタット
Author(s)	山本, 純也
Citation	大阪大学低温センターだより. 22 P.11-P.13
Issue Date	1978-04
Text Version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/11094/4225
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

シールド冷凍機を用いた液体ヘリウムクライオスタット

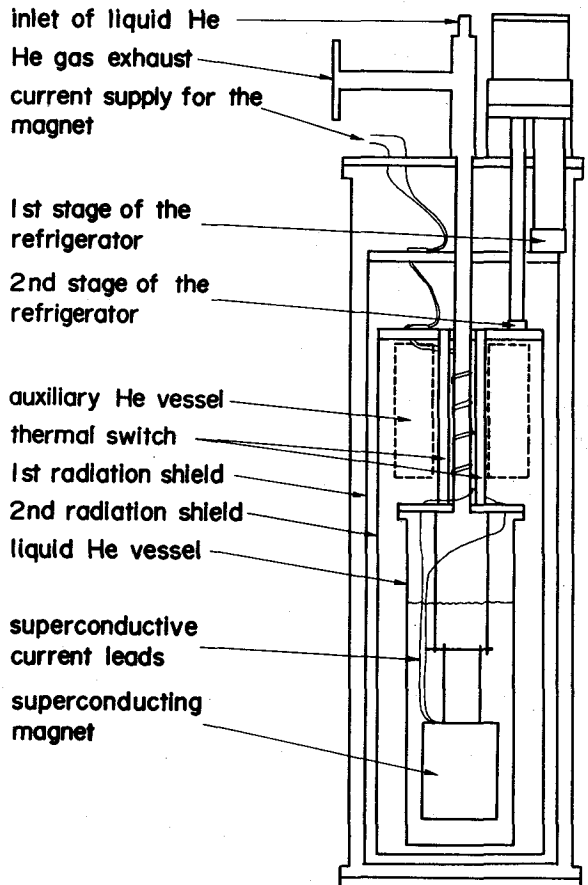
低温センター 山本純也(吹田4106)

超電導マグネットを液体ヘリウムの取扱いに煩わされずに利用したいというのは実験屋の夢である。生物・化学・医学への超電導マグネットの応用も昨今よく話題となるが、現在のヘリウムクライオスタットでは予冷や液体ヘリウムの補給が面倒でとても無理な話である。

ここで紹介するクライオスタットは超電導マグネットの磁場を液体ヘリウムの補給なしに長期間利用したいユーザーを対象として試作したものである。普通のクライオスタットとの違いは液体窒素を使用せずに小型冷凍機を初期冷却および定常時の熱シールドに使用することである。研究はまだ途上であるが、初期冷却は約2日間、定常時のヘリウム蒸発量は通電状態で1日当たり1ℓから1.7ℓ、無通電で0.35ℓから0.55ℓという極めて少い量であった。この結果からヘリウムの補給間隔は7日ないし10日となり、現在の常識を大きく破るクライオスタットができあがった。

このクライオスタットの被冷却体である超電導マグネットは最大磁場7T(電流29.9A)のNbTi線を巻いたもので総重量5.6kgである。第1図はこのクライオスタットの構造を示したものである。小型冷凍機(クライオメックGB02型)には2段のクールドヘッドがあり、これを利用して二重の熱シールドを構成する。マグネットを入れる液体ヘリウム容器は深さ490mm、内径150mmのステンレススチール製で、マグネットの取外しができるように上部フランジはインジウムでシールしている。

小型冷凍機は定常時の熱シールドだけでなく、初期冷却にも使用するので第2シールド板とヘリウム容器の間を窒素ガス入り



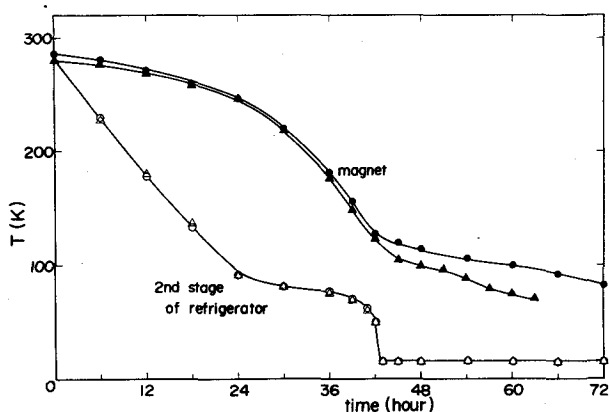
第1図 シールド冷凍機を用いた液体ヘリウムクライオスタットの構造図、液体窒素は使用せず冷凍機で二重の熱シールド板を構成する

のサーマルスイッチで接続されている。これは予冷時にはONとなって伝熱パイプであるがヘリウム温度ではOFFとなり単なる支持用パイプとなっている。ヘリウム容器とマグネットの間は予冷時はヘリウムガスを入れ熱を伝えている。

マグネット用リード線は一段および二段の熱シールド板に完全に熱接触するように工夫されており、さらに蒸発ガスの顕熱の一部を利用できるように中央のパイプに巻きつけられている。ヘリウム槽へは銅線をスタイクキャストで固めたハーメチックシールを用いて線を引き込んでいる。ヘリウム槽内の温度は13K以下であるので、 $T_c = 17\text{ K}$ の Nb_3Sn 多芯超電導線をリード線として用いた。

試作の結果の中からここでは予冷効果と定常時の蒸発量を紹介する。マグネットの予冷は通常液体窒素を用いるがマグネット重量1 kg 当り約0.42 l の液体窒素を必要とする。液体窒素を使用した場合の難点は予冷後の窒素の追い出しに時間のかかることである。またヘリウム槽に氷等の付着が許されぬときも困る。マグネットの初期冷却というときには室温から4.2 Kまでの連続したものを想像するが、実際問題としては熱容量および熱収縮の大きな室温から100 Kの間を重要視すればよい。液体窒素温度から液体ヘリウム温度まで冷却するのに消費する液体ヘリウムは最大2.2 l、最小0.18 l (重量1 kg の銅の場合)であるが、筆者の経験では0.3 l ~ 0.5 l をみておけばよい。

さて第2図は小型冷凍機を用いた場合のマグネットと第2シールド板の温度の降下状況を示したものである。サーマルスイッチ内には窒素ガスを10気圧以上入れてあり凝縮のはじまる温度は100K程度である。したがって冷凍機第2段温度が100 Kを切るとマグネットの温度降下が大きくなる。冷凍機の温度が下って62 Kをきると窒素は固化しサーマルスイッチはOFFとなる。冷凍機的一段、二段共、中央パイプと熱接触しており、ヘリウムガスが入っているため、サーマルスイッチがOFFとなってもマグネットの温度は下りつづける。ヘリウム槽内圧力が高い方が、ガスによる熱伝達量がふえるのでマグネットの温度降下は早い。



第2図 冷凍機を用いた超電導マグネットの予冷。
○●は当初He槽に一気圧のHeガスを入れ封じ切った場合。△▲はHe槽内圧力を予冷中常に一気圧とした場合。

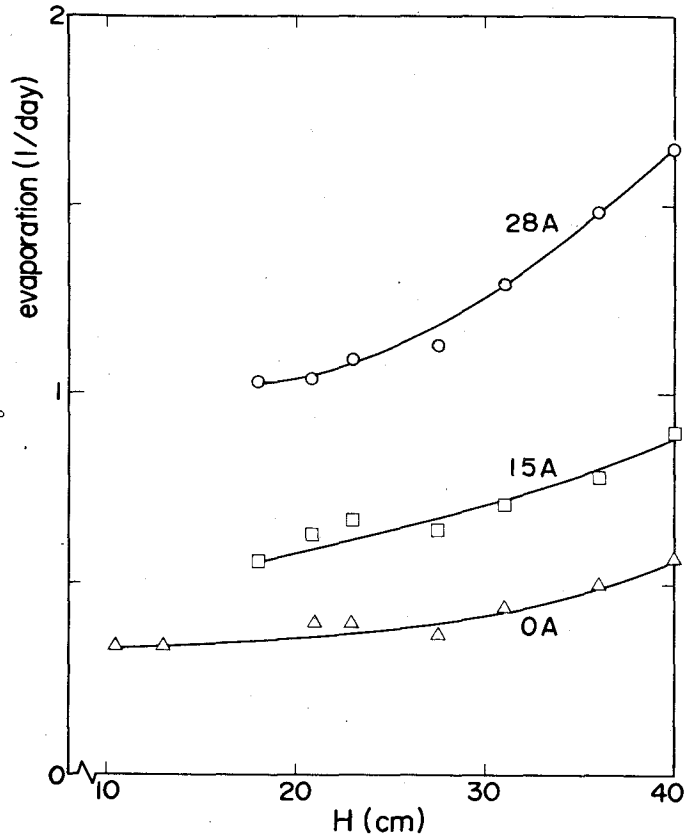
このように予冷された後に液体ヘリウムを入れるが、この後定常に達した時の各部分の温度は次のようになる。まず第1シールド板上部は60 K、下部は88 K、第2シールド板上部は16 K、下部は17 Kである。第1シールド板の上下で温度差があるのは室温からの放射熱(約11 W)による。第2シールド板の方は放射熱が少い(約26 mW)ため温度差が生じていない。なお第2シールド板からヘリウム槽への放射熱は約48 μWで完全に無視できる。

第3図はヘリウムの液面高さとの蒸発量の関係を示したものである。超電導線を使っているためヘリウ

ム槽内でのジュール発熱はないが、槽外（真空中）では銅線を用いているので通電によって線の温度が上り、熱伝導の形でヘリウム槽に入り蒸発を増やしている。同様の理由により液面が高いと熱伝導距離が短く蒸発が増えている。超電導マグネットの上面は液面高さ17cmのところであり、この位置でもヘリウム槽内は13K以下であるから Nb_3Sn 線は超電導となっている。（ $NbTi$ 線では T_c が低いので、液面が下ると超電導がやぶれて逆に蒸発が増える）

このような結果から超電導マグネットを長期連続して使用するのにこのクライオスタットは非常に良い方法と考えられる。時に永久電流励磁が使用できない時には最良の方法と言ってもよいのではないだろうか。なお欠点について述べるならば冷凍機固有の振動がある。しかし目的に応じてこの振動を逃げる方法はいろいろと考えられている。

このクライオスタットの試作は科学技術庁の総合研究“極低温科学技術に関する研究”に基づいて進められたものであり、ヘリウムによる連続冷却研究会（代表信貴豊一郎氏）ならびに古河電工の協力を得たものである。



第3図 液体ヘリウム蒸発量と液面深さの関係。
パラメーターは超電導マグネットへの
通電電流値。He槽内のリード線は
 Nb_3Sn 多芯線。