

Title	温度制御に関する二・三の工夫
Author(s)	松尾, 隆祐
Citation	大阪大学低温センターだより. 1981, 34, p. 11-13
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/4015
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

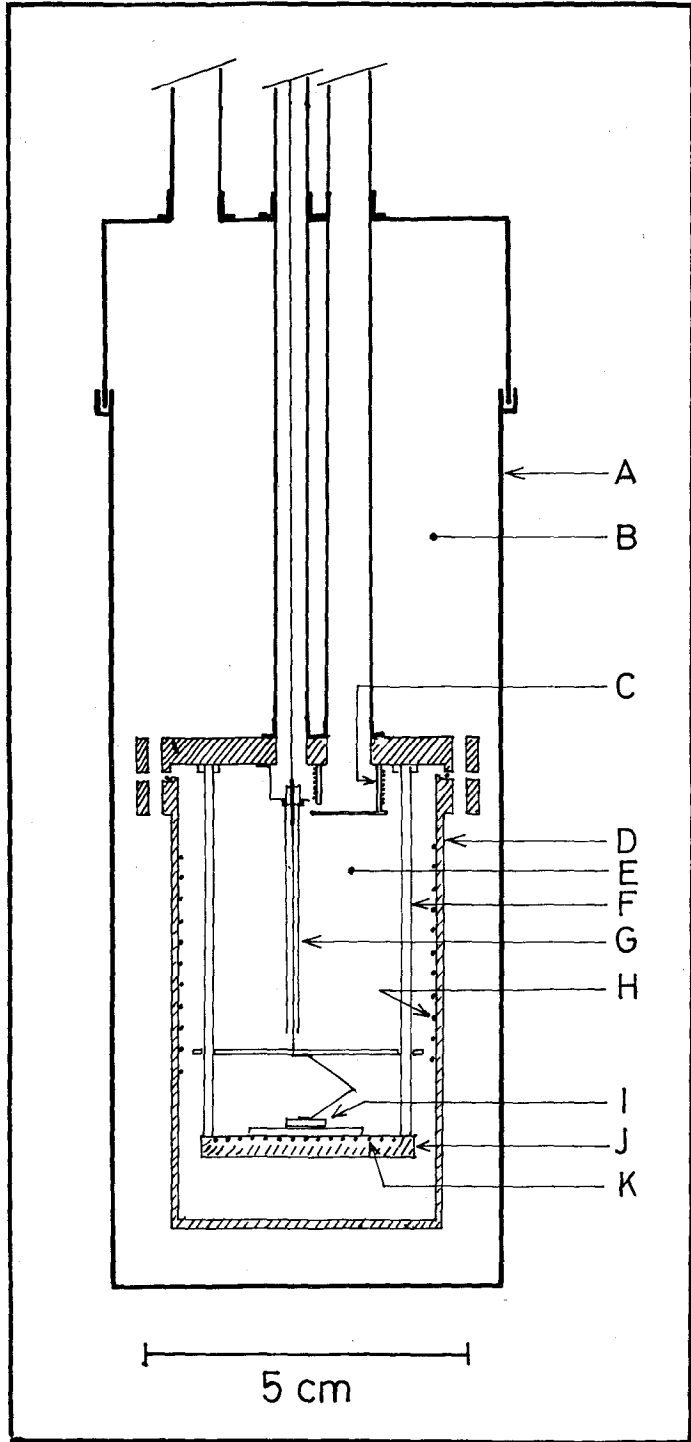
温度制御に関する二・三の工夫

理学部 松尾隆祐 (豊中 4201)

私達が実験結果をグラフにプロットするとき、温度はまず間違いなく横軸にとる。すなわち、温度は私達の自由になる独立変数と見なされている。これに対して、縦軸には自由にならない興味のある量をプロットする。その測定は実験家の生き甲斐とも言えるから誰しもそれには努力する。しかし、縦軸のバラツキも横軸のバラツキも等しくバラツキであるから、言うまでもなく両軸ともに重要である。さて、縦軸を精確に測定することが即ち横軸の精確な測定になるという実験がある。断熱型熱量計による熱容量の測定がそれである。従って温度測定と温度制御はこの分野で非常に発達した、小稿では他分野への応用を考えつつ温度制御に関する二・三の工夫を述べさせて頂きたいと思う。温度目盛、定点、その測定などの重要な問題は本シリーズで引き続きとり扱われる予定である。ここではそれらがすでに確立されているとし、較正された温度計(熱電対、白金抵抗温度計、サーミスター)があるものとする。正しく制御された温度の測定は主として温度目盛の問題となる。また液体ヘリウム領域(Ge, 炭素, ジャンクション温度計)についても続編で述べられる予定である。

温度計は何の温度を測定するかというと、もちろん温度計の温度を測定する。熱電対はその接点の、白金抵抗温度計は白金抵抗体の温度を表示する。しかし「横軸 T は温度計の温度です」などと私達は言わない、試料と温度計が同じ温度にあると考えているからである。従って実際にそのようになっていることが必要であるが、温度測定と温度制御の最終的難問は多くの場合ここに残る。一般に、試料部とそれ以外との区分が截然としていなければならない程、温度制御はしやすい。ここで区分の規準は熱伝導度である。これは試料部の熱的一体性と表現できるであろう。すなわち、試料部の均温性と環境の均温性がそれぞれ良好で、そのあいだの熱抵抗が高いことが望しい。装置の設計のときにこの点を考慮することが最も大切である。熱量計用クライオスタットや恒温槽はそのように作られている。すなわち、試料部を金属シェルで囲み、その間を真空にするか断熱材で充たす。その働きは、外部からの不均一な熱流を熱伝導の良い金属シェル(ジャケットと呼ぶ)で均一化することによって、その内側に対して均一温度の環境を作ることと、熱絶縁によってジャケットの均温効果を高めることである。この工夫が理想的に働くと、中心に置かれた試料はイヤでも一定温度に保たれる。断熱型熱量計では試料を直接に加熱することなく一定温度に保つことが必要であるのでこのような温度安定化法が発達した。現在では μK の安定化が行われている。一般の温度制御では制御対象を直接に加熱できる点で、熱量計の場合より制御が行いやすい。しかしその反面、熱の流入と流出を釣合せての制御であるから、試料各部に温度分布が生じると考えるべきである。その不均一は試料部の熱的一体性が良い程小さい。熱的一体性を良くする方法として、装置各部に使用する材料に銅とステンレスを使い分けること、ヒーターで発生する熱を速かに放散させること、有効な固体伝熱が難しいときにはヘリウムガスを利用する(必要なところに封入する)ことなどである。また最終的的被制御点で必要とされるヒーター電力ができるだけ小さくて済むように工夫する。以上のことを考えて作った誘電率測定用クライオスタットの例として第1図に示す。これは2重気密容

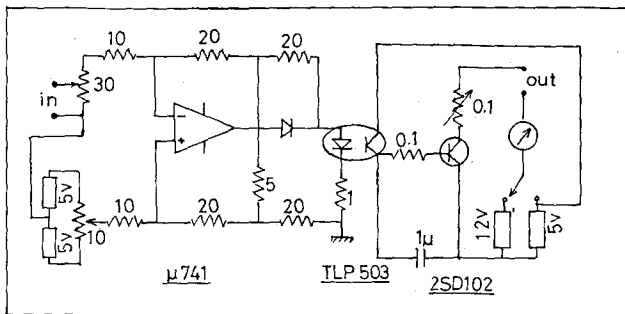
器A、Dから成る。Aの内側Bは真空、Dの内側Eは真空あるいは適宜ヘリウムガスを入れる。試料台Jは熱電対で温度を測定し、設定温度との差に応じてヒーターKの電力を制御する。ヒーター線はJの上面に掘った溝に埋めてアラルダイトで固定する。Jはステンレス管Fで支持し、試料Iに至るリードGは容器Dに入ったところでコンスタントに変える。それより上は銅線であり、ステンレス管中に同軸状に入れる。このステンレス管の中はEと同じヘリウム圧である。DとJの間に示差熱電対を入れ、その起電力に応じてヒーターHの電力を制御する。これによって外部に逃げる熱の大部分を補償する。その結果、試料ヒーターKに必要とされる電力を小さくすることが可能となる。D J間の熱電対起電力に補償起電力を入れることによって、Kで必要とされる電力を加減する。試料部における温度勾配の効果はこれによって見積ることができる。ヒーターと熱電対のリードはCに巻きつけて、そ



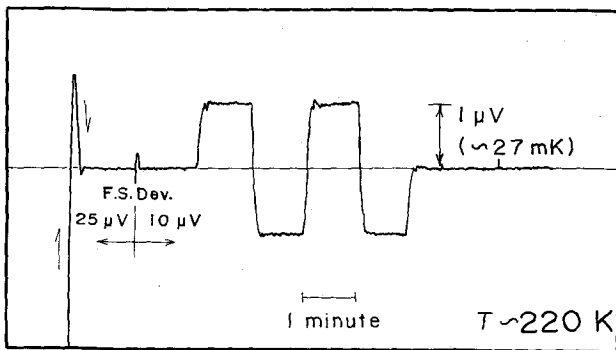
第1図 2重に温度制御を施した誘電率測定用クライオスタット。各部の説明については本文を御覧下さい。

の温度になじませる (thermal anchoring)。巻きつけるべき線の長さについての計算が行われている [1]。

ヒーター電力の制御回路は市販のマイクロボルト増巾器と電力増巾器 (第2図) から成る。前者は $1 \mu\text{V}$ 程度の熱起電力を 10^6 倍に増巾し、後者はそれを $0.1 - 1 \text{ W}$ の電力に変える。この回路にはフォトカプラーを入れて熱電対回路とヒーター回路を直流的に分離してある [2]。こうすることによって適切な接地点を選ぶことができる。クライオスタットの構造が複雑であればリード間の電氣的結合が生じる機会が多くなり、その結果、負帰還系が不安定化したり、零点が不明確であったりするが、増巾回路にこのようにフォトカプラーを入れてからはそのような問題は生じなくなった。なお、フォトカプラーで分離された回路には別々の電源が必要である。その間の直流的絶縁は最終的には電源トランスの巻線間絶縁に依ることを考えて回路を作る。



第2図 温度制御に用いられる分離型電力増巾器



第3図 温度制御器の動作状況

第1図とほぼ同じクライオスタットの温度制御の様子を第3図に示す。図中士 $1 \mu\text{V}$ は零シフターによって平衡温度を約 27 mK だけ変化させたことを示す。

室温付近の恒温槽 (結晶成長用、標準電池、標準抵抗器の温度安定化用など) の制御にはサーミスター温度計を使うことができる。この場合にはヒートストーン・ブリッジに組み込み、その不平衡信号を増巾してヒーターに帰還させる。白金抵抗温度計も同様に使えるが筆者にその経験はない。

装置を作るにあたり、本学工作センター機械工作室及び工作室から御助力を頂き、また理学部化学教室阿竹徹博士からコメントを頂いたことを記し謝意を表します。

文 献

- [1] J. G. Hust, *Rev. Sci. Instrum.*, **41**, 622 (1970).
- [2] 松尾隆祐, 熱測定, **4**, 54 (1977).