

ヘリウム液面計の製作

大学院理学研究科

鈴木 三千郎

1. はじめに

ベッセル（液体ヘリウム保存容器）中にどの程度液体ヘリウムが残っているかを知ることは、液体ヘリウムを供給する側、利用する側の両者にとって必要不可欠です。供給側では、液体ヘリウムの供給及び利用量の把握が必要であり、利用側では消費量と共に、ベッセルからクライオスタットへのトランスファーがどの程度効率的になされているかを知る必要があります。液体ヘリウム量は、ベッセル中のどの位置にヘリウムの液面があるかを知れば求めることができます。つまり、ヘリウム液面計が必要となるわけです。

最も簡便な液面計として、気柱振動を利用するものがありますが、正確な液面を計測するには経験が必要であり、定量的な結果を得るには少々不向きです。液面位置を数値として表示できる液面計として現在最も広く使用されているのは、超伝導線を使用した液面計です。これは、超伝導線が液体ヘリウム中で超伝導になることを利用し、液面より上の常伝導部分の電気抵抗から液面位置を計測するものです。このような液面計は市販されていますが、それらは少々大きすぎるためベッセルに取り付けようとすると、少々面倒なことになります。そこで本稿では、ベッセルに取付けが容易な、小型軽量の液面計の製作について述べたいと思います。また、液面計の今後の展開として、静電容量測定による液面計測の試みについても述べたいと思います。

2. 小型軽量液面計の製作

我々が作成した液面計の写真を図1に示します。液面計は、センサー部分と計測・表示部分から構成されています。以下、液面計の製作方法につ

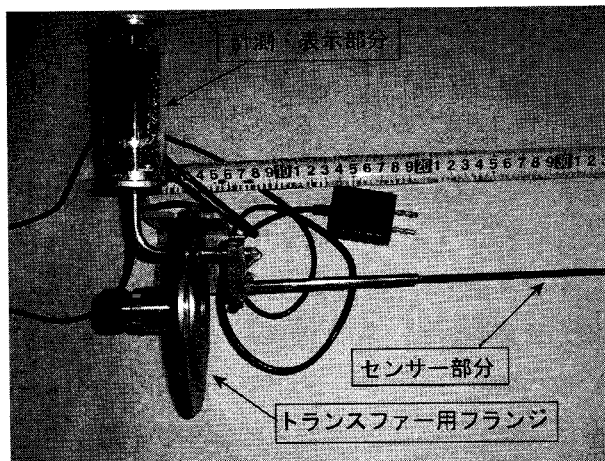


図1. 液面計の外観。センサー部分、計測・表示部分とも、トランスファー用フランジに取り付けられている。

いて述べていきます。

まずは、センサー部分についてです。この部分は市販品を購入しても良いのですが、比較的簡単に製作できるので、それについて述べます。センサー部分は、図2に示すように超伝導線とヒーターから構成されます。ヒーターは、ヘリウム液面から上にある超伝導線の超伝導を破るために使用します。超伝導線としては、手に入りやすいNb-Ti線を使用しました。直径 0.05 mm と 0.1 mm の2種

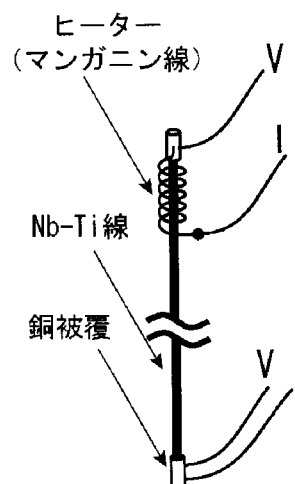


図2. ヘリウム液面計用センサーの概略図

類を用意しましたが、電流の大きさや発熱量を考慮すると0.05 mm 径のものが良いと思われます。ただし、細い径ものは取り扱いが少々厄介になります。購入した超伝導線は、銅及び絶縁被覆がされているので、この二つの被覆を取り除きます。このとき、両端の5 mm 程度は、後のハンダ付けのために銅被覆のみ残します。上端の銅被覆が残っている部分にヒーターであるマンガニン線（太さ0.1 mm、長さ3 cm 程度）をハンダ付けした後、巻きつけます。なお、マンガニンヒーターの発熱を有効に活用するためには、この部分を接着剤で覆うと良いようです。さらに、図のように電圧、電流リード線を取り付けます。このようにして出来たものを、保護と固定のため細い金属パイプなどに入れて使用します。なお、パイプには、通気のために、5 cm 程度の間隔で、穴をあけておきます。

Cu 被覆超伝導線の代わりに、Cu-Ni 被覆線を利用するとさらに簡単にセンサー部分の製作が可能です。この場合は、両端の絶縁被覆除去のみを行いそこへ電圧及び電流リード線を取り付けます。リード線取付け部分の発熱と、低熱伝導度のCu-Ni 被覆により、ヒーターを使用せずに超伝導を破ることができます。ただし、リード線の接続部分は、常に液面から3 cm以上離す必要があります。

次に、計測・表示部分の説明をします。図3にその回路図を示します。

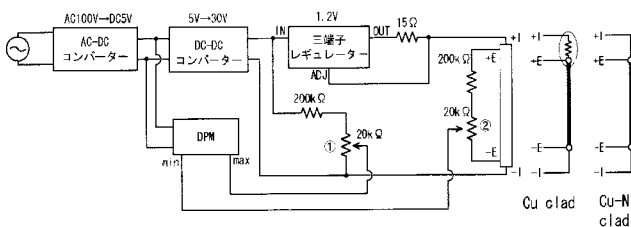


図3. 液面計の計測・表示部分の回路図

主な部品は、コンバーター、3端子レギュレーター、デジタルパネルメーター（DPM）及び可変抵抗器です。まず、AC-DCコンバーターによりAC100VをDC5Vに変換します。これは、DPMと30V出力のDC-DCコンバーターの電源となります。さらに、3端子レギュレーターを用いて、80 mA の定電流を作り、これをセンサーに流します。センサーの

電圧をDPM に表示させることにより、ヘリウム量（ヘリウム液面の位置）を知ることができます。DPM は、1,999 mV表示のものを使用しました。これは、100 リットルのヘリウムベッセルを使用したとき、0.1 リットル単位で表示させたいためです。可変抵抗器の①及び②はそれぞれDPM の最大値、最小値を設定します。組み上げた電気回路は図1の写真のように、アクリルパイプを切断して作ったケースに入れて使用します。この写真から判るように、これらが小型軽量であるため、我々はベッセルに附属するトランスファー用のフランジに直接取り付け使用しています。

3. 静電容量測定による液面計測の試み

液体と気体で誘電率が異なることを利用して、液面位置を検出することが可能です。これは、例えば図4のように鉛直方向に細長い平行な2枚の金属平板をセンサーとして用い、このセンサーの静電容量の変化により液面位置を決定します。

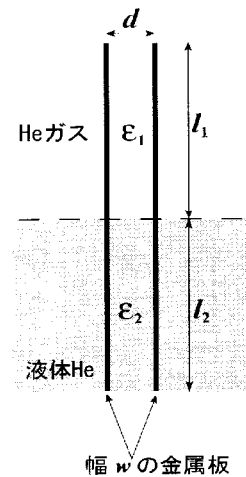


図4. 静電容量測定による液面計測の概念図。金属板間の静電容量は $C = \frac{w(l_1\epsilon_1 + l_2\epsilon_2)}{d}$ より決められる。

この方法の特長は、原理的にセンサー部分の発熱がないことと消費電力が小さい点です。そのために、計測時に液体ヘリウムをほとんど蒸発させず、電源として乾電池の使用も可能です。また、センサー部分は二枚の金属板或いは後で述べるように2本の金属パイプから構成される等の簡単な構造のため、材料入手と作製が容易です。さらに、液体ヘリウムの液面計としてだけでなく、種々の液体の液面計測に測定回路の定数のみの変更で対応

することができます。例えば、このセンサーをクライオスタットに取り付けておけば、ヘリウム液面計としてだけでなく、予冷時の窒素液面計としても利用できます。

実際に試作したセンサー部分は、外径9.5 mmの金属パイプに絶縁のためのナイロン糸をらせん状に巻きつけ、内径10.4 mmの金属パイプに挿入したものです(図5の左図参照)。このセンサーの使用上の注意点は、リード線の線間容量を変わらないようにすることです。

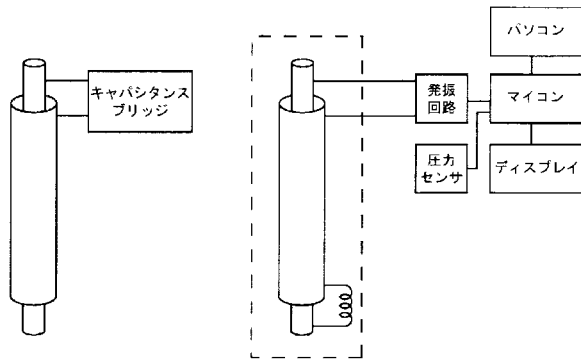


図5. 静電容量計測システムの概略図

このセンサーのテストとして、ヘリウム液化中でのヘリウム貯槽中の液面位置の変化を計測してみました。静電容量測定にはキャパシタンスブリッジを使用しました。その結果、このセンサーを用いて液面位置のわずかな変化も正確にとらえられることが判りました。大まかには、前述の超伝導線を用いたセンサーより1桁程度感度が高いようです。しかしながら、このような感度の高い計測はキャパシタンスブリッジを使用してのみ可能で、通常の容量計ではほとんど不可能です。これは、ヘリウムの誘電率が気体と液体で大きく変化しないことによります。

上記の問題の解決のため現在、図5の左図のようなシステムを考えております。このシステムは、発振回路、圧力センサー、マイコンから構成され、さらに先に述べたセンサーの先端にコイルを取り付け、発振回路のタンク回路として使用します。液面が変われば、共振周波数が変わるため、液面の変化を周波数の変化としてとらえることができ、それをマイコンで読み取ります。周波数の読み取りは、市販の容量計での容量測定よりはるかに高感度で行なえるため、ヘリウムの液面位置計測が

可能となるはずですが、なお、圧力センサーは、ヘリウムガスの圧力変化による誘電率の変化を補正するためのものです。このシステムの製作は、現在部分的にしか完了していませんが、今後、是非とも実用化したく思っております。

3. まとめ

超伝導線を用いた液体ヘリウムの小型軽量液面計の製作や、静電容量測定による液面計測の試みについて紹介しました。小型軽量液面計に関しては、我々はベッセルに直接取り付けて使用していますが、その他にも様々な使用方法が考えられます。ここで紹介したように、比較的簡単に製作可能ですので、みなさまの液体ヘリウム実験に活用して頂けることを願っています。