ガスバッグ内容量の連続記録による 液化ヘリウム系の監視

春 山 富 義

筑波大学低温センター 305 茨城県新治郡桜村

(1980年9月10日受理)

Continuous Recording of Helium System Through a Gasbag

Tomiyoshi HARUYAMA

Cryogenics Center, University of Tsukuba
Sakura-mura, Niihari-gun, Ibaraki-ken, 305

(Received September 10, 1980)

Synopsis:

Motions of a gasbag surface (max. 60 m³) in the recovery and purification system of helium gas were recorded on a chart recorder. The transducer was composed of a ladder-chain, sprocket-wheels and a potentiometer. A small but systematic nonlinear dependence of a gasbag height on the gas volume was linearized by a parallel resistor. The final performances were accuracy of 0.5 m³ limited by the shape of the gasbag, resolution of 0.02 m³ limited by the potentiometer and hysteresis of 0.03 m³ limited by a clearance between the ladder-chain and the sprocket-wheel. These performances match use of a pen-recorder.

The chart contains a large amount of valuable information:

1. Evaporation rate of liquid helium containers.
2. Start and stop times and amount of recovery from substations.
3. Start and stop times and the loss of liquid-helium transfer.
4. Start and stop times of recovery and purification compressors.
5. Performances of recovery and purification compressors, and recovery blowers at substations.

1. はじめに

液体ヘリウムを使用する系では特別な場合を除いて蒸発ガスを回収し、精製・液化して再使用方法をとっている。こうした系において、精製・液化、液体の取り扱いについては高圧ガスということもあってガス管理のために圧力、流量等の計測・制御は以前から多くのことがなされているが、低圧回収部分に関してはそのほとんどが単にバッファとしてのガスバッグを設置し、回収用圧縮機と連動させている程度である。

しかし、蒸発ガスがそこに必ず集まってくる回収ガ

スバッグの内容量が連続記録できれば、系全体の状態に関する多くの情報が得られるはずである。

近年、液体ヘリウムの需要が増え、系も大型化し単に液化室と実験室間の回収配管のみならず、各建物にサブセンターを設置して回収を行うことも多くなっている。こうした系で各サブセンターの状態を中央で監視するためには、信号を送受するだけでも高価で大がかりな装置が必要となり、保守という点からも考慮するとそうしたことは簡単には行われていないのが現状であろう。

我々の系では現在、サブセンターが3ヶ所設置され

Fig. 1 A schematic drawing of the gasbag.

- A : A bag. B : A steel frame on the bag. C : Guide-roller components which are fixed to the frame and enable it to move up and down smoothly.
D : A side bar to hang down the indicator-bob. E : A guide tube for the indicator-bob.
F : Limit switches. G : A guide tube for the counter-weight. H : Stoppers.

Fig. 2 Inflow volume vs. a gasbag height. This shows inflow volume becomes nonlinear at the point where a gasbag height is about 100 cm.

Fig. 3 Volume displacement per unit length vs. a gasbag height. Above 100 cm, this gasbag needs smaller volume to displace unit length as the gasbag volume increases.

ており、地下共同構の回収配管を通してガスが回収されている。各サブセンターには定格 30 m³/h の低圧プロア、ガスバッグ、流量計、純度計があり自動回収を

行っているが、建物間が離れていることもあって機器や送出ガス量の日常点検は難しく、定期的に出向いて行う程度である。また、センター内における液体ヘリ

ウムトランスファーや回収圧縮機の状態に関しても単に圧力計や流量計から得られる情報で判断することが多い。

そこで、「蒸発ガスの通り道としての回収ガスバッグ」という視点から、ガスバッグ内容量を±1%程度の誤差で電気信号に変換し連続的に表示、記録できるようにしたところ、系全体の状態をみる上で好結果が得られたので以下に報告する。

2. ガスバッグ

我々のガスバッグ（大阪酸素製、最大容量60m³）をFig. 1に示す。内圧を約25mmAq（ゲージ圧）に保つためバッグAの上に架台Bを乗せ、その四端にガイドローラーCがついており架台は支柱に沿ってほぼ水平に上下するようになっている。ガスバッグは二階の高さにあるので一階でも高さがわかるように架台から横棒Dを出し、ここからワイヤーで指示用のおもりを下げ、それが高さ約2.5mのアクリルガイド管Eの中を上下して位置が指示される。4個のリミットスイッチFが、穴あき鋼管Gに取りつけられており、この中をガスバッグの動きに応じて上下するカウンターウェイトによって接断され、それぞれ「最上限」で満杯警報、「上限」で回収用圧縮機駆動、「下限」で精製時の電磁弁駆動、「最下限」で圧縮機停止の各操作とパネル表示を行う。ガスバッグの実効移動距離は約2.5mだが、バッファ機能を考慮して架台ストップHから200mmに最下限スイッチ、1640mmに上限スイッチがついている。

Fig. 2はガスバッグ最下限の状態からルーツ型流量計を介して流入したガス体積と架台ストップからの高さの測定結果である。また、Fig. 3はその時の、高さが単位長さだけ変位するために必要な体積を表わしたものである。図で、内容量が少ない時のばらつきはガスバッグがたたまれた状態のために、同一量のガス流入に対する変位が不均一になるためと思われる。更に、このガスバッグは上昇していくにつれて単位長さだけ変位するのに必要な流入ガス量が少なくなり、完全な立方体ではないことがわかる。

3. 高さ検出機構

Fig. 4に示すように高さの検出は指示用のおもりを下げているワイヤーをラダーチェーン* 1に変え、ア

* ㈱協育〔台東区東上野 1-8-3, (834)-5841〕でチェーンが400円/m、ホイール1個300円程度で手に入る。

Fig. 4 The transducer composed of a ladder-chain and sprocket-wheels.

1. A ladder-chain.
2. Sprocket-wheels.
3. A 10 turns potentiometer.

クリルガイド管（Fig. 1. E）上端にとりつけた2個のスプロケットホイール* 2を駆動し、それに直結した10回転ポテンシオメータ3の抵抗変化を利用した。本装置のラダーチェーンは、ピッチが3.75mm材質SUS、15g/mのもので、スプロケットホイールはポテンシオメータ駆動用に、既製品では最大の円周179mm、10回転で全変位が1790mmとなるものを用いた。この機構の誤差は、チェーンとホイールのクリアランスから生じるものであるが実際に測定した結果では、ガスバッグ1往復当たりD.V.M.の表示値で3mV（0.03m³/分）であり、変位は1mm以下であった。

直線一回転運動の変換は他にもいくつかの方法があるが、例えばプーリーとワイヤーを用いる場合は必ずすべりや、方向転換時のずれがおり、それが積算されるため経時変化が大きくなってしまふ。実際にプーリーとワイヤーでFig. 4と同様の装置を作成したが、

Fig. 5 A schematic circuit design. “ R_p ” is a parallel resistor for compensation. Unit is ohm.

ワイヤーの張力によって1往復当たりのずれがかなり異なり、最適な条件をみつけるのは容易ではなかった。

4. ガスバッグ高位置時の非直線性補正と電気回路

高さの検出にはリニアなポテンシオメータを用いており、Fig. 5 の定電流値 I_C を適当に選べば、出力電圧が直接内容量を表わすようになるが、Fig. 2, 3 に示す通りこのガスバッグは約1mのところから変位が直線でなくなるので、出力をそのまま表示すると内容量との間にずれが生じてくる。これを補正するには補正曲線を作ってもよいが、それでは実用性がうすれるので、以下のように電気回路上で行った。

Fig. 5 の電気回路において、1k Ω ポテンシオメータの可変抵抗値 r がガスバッグの動きに応じて変化する。今、表示用電流計と100k Ω 抵抗を無視すれば、 R_p 両端電圧 E_0 は次のようになる。

$$E_0 = \frac{R_p \cdot r}{R_p + r} \cdot I_C = \frac{r}{1 + (r/R_p)} \cdot I_C \quad (1)$$

ここで、 R_p を適当に選べば r が小さい時（ガスバッグが低い位置）には R_p の影響が小さくなり、 r が大きい時（ガスバッグが高い位置）には R_p がない時より E_0 が小さくなり、ガスバッグの高さと出力電圧の関係が Fig. 2 における実線と同じ傾向になるはずである。（Fig. 2 の破線は低域の直線を延長したもので R_p がない時の出力電圧とガスバッグの高さの関係に

Fig. 6 An effect of nonlinearity compensation. Open circles show the case of no compensation by parallel resistor R_p , and constant current $I_C = 4.53$ mA. In this case an error is about 3%. Close circles show the case of compensation using 22k Ω resistor as R_p , and $I_C = 4.66$ mA. An error is reduced to 1%.

なる。）

実際の回路では電流計と100k Ω の抵抗が入っているのでこれを考慮し、我々の装置では R_p として22k Ω を用いた。

定電流回路は汎用OPアンプ741とPNPトランジスタによって構成し、抵抗は安定度のよい金属皮膜型を用いた。ポテンシオメータはセンサー部にあり、本体から離れて設置されることが多いので図のようにシールド線を用い、アースをとることが必要である。

この補正方法は、ガスバッグの特性がFig. 2に示す傾向を持つものに対しては、 R_p , I_C を変えることによってそのまま適用できるが、特性が全く異なる場合は別の方法を用いなければならない。

調整はD.V.M.を接続し、適当な量のガスをガスバッグに入れた時の高さからFig. 2によって求まるガス量の値と、D.V.M.の表示が同じになるように電流調整トリマを調整することによって行う。ガスバッグが低い時と高い時の2点で行うとよい。

Fig. 6に、流量計を介してガスバッグに入れたガス量とD.V.M.表示値との関係を示す。 R_p による補正を行わず電流を最適値にした場合（白丸）に比べ、 R_p を用いた場合（黒丸）は高位置での補正が充分になされ、これにより全域にわたり誤差が $\pm 1\%$ 以内（0.5m³）におさまった。

センサーとしての1k Ω ポテンシオメータの分解能は記録計の感度と紙送り速度を上げて実測したところ、D.V.M.出力で2mV（0.4 Ω ）、ガス量にして0.02

Fig. 7 Typical events recorded on a chart.

- a, g: Recovery from substations to the gasbag.
- b, c: Start and stop points of transfer to a container.
- d: Recovery by compressors from the gasbag.
- e: Liquid helium transfer to a container.
- f: Liquid helium transfer to a experimental cryostat.
- h: Compressors start by limit switch at "HIGH-LEVEL".
- i: Compressors stop by limit switch at "LOWEST-LEVEL".
- j-n: Events concerning to a purification. See details in the text.

m³であった。

更に、ある基準の位置にあるガスバッグに同一量のガスを流入した時に常に変位が同じになるかという再現性の問題があるが、実際に装置をつけてから約1ヶ月間、任意の高さにある時のD.V.M表示値を読み、Fig. 2から求まるその高さでの内容量を比べたところ、その誤差は±1%以内であった。

5. 結果

Fig. 7に、トランスファーから精製に至るまでの系の主要な事象に関する記録を一部示す。

図において、aはサブセンターからの回収である。この時、流量計により計測した流量6.15m³に対し、チャートからの読みは6.2m³であった。また、この傾きから求めたサブセンターのプロアの処理能力は32m³/hで定格(30m³/h)とほぼ一致し、正常に動作していることがわかる。

bは100 l容器(最大容量104 l)に1000 l容器から液体ヘリウムをトランスファーした時の開始を、cはその終了を示す。これらの点から、トランスファーに要した時間と蒸発ロス量のみならず、その過程も読みとれる。また、このチャートから読みとった蒸発ロス量を液体量に換算し、1000 l容器の液体減少量から差し引けば、100 l容器にトランスファーされている液体量が算出され、トランスファー時のモニターにもなる。この例では計算で求めたトランスファー量が107 lであったのに対し、実際は103 lであった。この時のトランスファーは100 l容器の内圧が上昇するまで行っただけで過充てんぎみであったが、この程度の誤差で任意の量をトランスファーすることができるわけである。

dは回収圧縮機による回収カードルへの充てんを示す。この例では圧縮機の起動を手動で行ったので、グラフはガスバッグ上限を示す破線までいかに下降

(充てん)している。この傾きから求めた処理能力は定格が $80\text{m}^3/\text{h}$ であるのに対し、 $86\text{m}^3/\text{h}$ で、回収圧縮機は正常に動作しているといえる。

e は 50 l 容器へのトランスファー、f は実験用クライオスタットへのトランスファーの例である。

g は再びサブセンタからの回収で、その途中 h において上限リミットスイッチが入り、圧縮機が自動的に駆動、i でガスバッグ最下限となり圧縮機が停止したことを示している。

j ~ n は精製状態を示している。精製中にガスバッグが下限(k)までくると電磁弁が開き、回収カードルのガスがガスバッグへ入ってくる(1)。上限までガスが入ると電磁弁が閉じる。この間圧縮機は動作し続けており、回収ガスは圧縮されて精製系へ入り、精製カードルに充てんされる(m)。チャートにはこの繰返しとともに途中のバルブ操作の影響(j)も記録されている。精製開始から終了(n)までの時間と、圧縮機の処理能力から精製されたガス量が算出される。この例ではチャートから求めた値 388m^3 に対し、精製カードルの圧力増加から計算した値は 387.1m^3 で、チャートからの読み取り値が十分に実用性をもっていることがわかる。

更に、図では省いたが、以上のような事象が起こっていない時にはチャートはゆるやかな増加を示し、この傾きから容器の自然蒸発量を求めることができる。

以上のようにこのチャートから系に関する多くの情報が得られ、大別するとほぼ次のようである。

- (1) 液体ヘリウム容器の自然蒸発量
- (2) サブセンタからの回収量、時間

- (3) トランスファー時の蒸発ロス、所要時間、状態
- (4) 回収圧縮機、回収プロアの処理能力
- (5) 精製ガス量、状態

ここに示したものは約3週間で得られたいわば系の正常動作の一部であり、更に長期に記録することによって、より多くの事象が表われてくるものと予測される。例えば、系にリークが発生した場合、そのリーク量が容器の自然蒸発量(現在合計で $10\sim 15\text{ l/day}$)に近いものであればチャートに表われてくるはずである。また、サブセンタの回収プロアや、回収圧縮機の処理能力や容器の蒸発量が変化した場合も同様である。

こうしたことをみていく上で、Fig. 7 に示したようなガスバッグ内容量の単なる変化のみでなく、更にその変化率も同時に記録できればガスバッグへ入ってきたり、出ていったりするガスの瞬時流量がつかめて便利である。これは既にガスバッグ内容量が電気信号に変換されているので信号処理の問題であり、比較的簡単に行うことができる。

我々はそうした点も考慮しつつ、現在記録を続けており、そこに表われるであろう新しい事象とともに、この装置の長期間の信頼性を調べている。

6. 謝 辞

この実験を行うにあたり、お世話になりました松浦悦之教授、大塚和弘低温センター長、吉崎亮造助教授、落合勇一講師、富永昭講師および池田博、宮内幹雄両氏に心から感謝いたします。