

差動ピラニゲージ型リークデテクター

富永五郎・長谷川 伸・宮本達也

1. ま え が き

最近高真空装置が各種の工業分野に広範にとり入れられるようになったため、装置の真空洩りを探す方法についての関心が急速に高まってきた。リークデテクターの決定版は何といってもヘリウムを probe gas とする質量分析計型のものであることはいうまでもないが（最小検出リーク $\leq 10^{-6} \text{ l}\mu/\text{sec}$ ）、わが国においてはヘリウムを輸入に依存しなければならぬことが最大の欠点である。この型のもので水素を probe gas とすると感度は 10~100 倍程低下するが、それでもなお十分に特長を発揮するので最近わが国でも水素・ヘリウム両用の質量分析計型リークデテクターが製品として市販されるようになった。

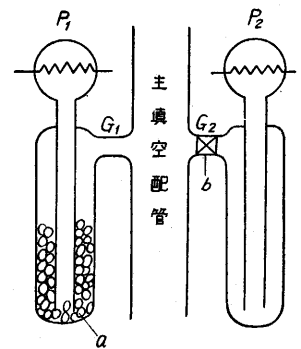
しかし、何れにしてもこの型の高価であることがさげられず、場合によっては感度はこれほどなくてももっと簡便なものが要求される。考えられる各種の洩り探し法については筆者の一人がすでに紹介したが、その中で差動ピラニゲージはこの目的に合致しそうである。この場合トラップに液体空気やドライアイス等を用いるのでは、費用もかかり、またどこでもつかえるというわけにゆかない。炭酸ガスを probe として、これを苛性ソーダ（ソーダライム）でトラップするという方法も考えられるが、ここでは活性炭をトラップにして、⁽²⁾ アセトン等の有機ガスで probe する方法を試みた。一般に高速排気ポンプで排気しながら使用される高真空工業装置の真空洩りはたかだか $10^{-2} \text{ l}\mu/\text{sec}$ が確実にわかればよい場合が多いが、われわれは上述の組合せでこの目的によく適った装置をつくりえた。

2. 差動ピラニゲージの原理と実際の装置

(a) 原理 第 1 図のように主真空配管を間にして対照的においた二つのピラニゲージ P_1, P_2 をバランスさせる。このとき P_1 と主真空配管の間には活性炭のトラップをおくが、 P_2 の側にはこれの代りにトラップと導管のコンダクタンス G_1 に対応する適当なコンダクタンス G_2 をもたせておく。この装置では主配管の中で空気のようなトラップにかからない気体の気圧が変化しても二つのピラニゲージのバランスはくずれないが、たとえばアセトンやエーテル、アルコール等の蒸気が侵入してくればバランスがくずれ、ただちにその存在を検知することができる。これによって真空装置の外からアセトン

等をふきつけて、真空洩りを探すのである。

作動がこのようなものであるから、用いるピラニゲージ及びその外部回路の特性は、何よりもまず作動点におけるわずかな変化に対して敏感であることが要求される。そこでピラニゲージを交流で働かせ、その出力を真空管増幅器で限度まで増幅することにした。こう



a: 活性炭トラップ
b: バランスのための真空抵抗
 P_1, P_2 : ピラニゲージ

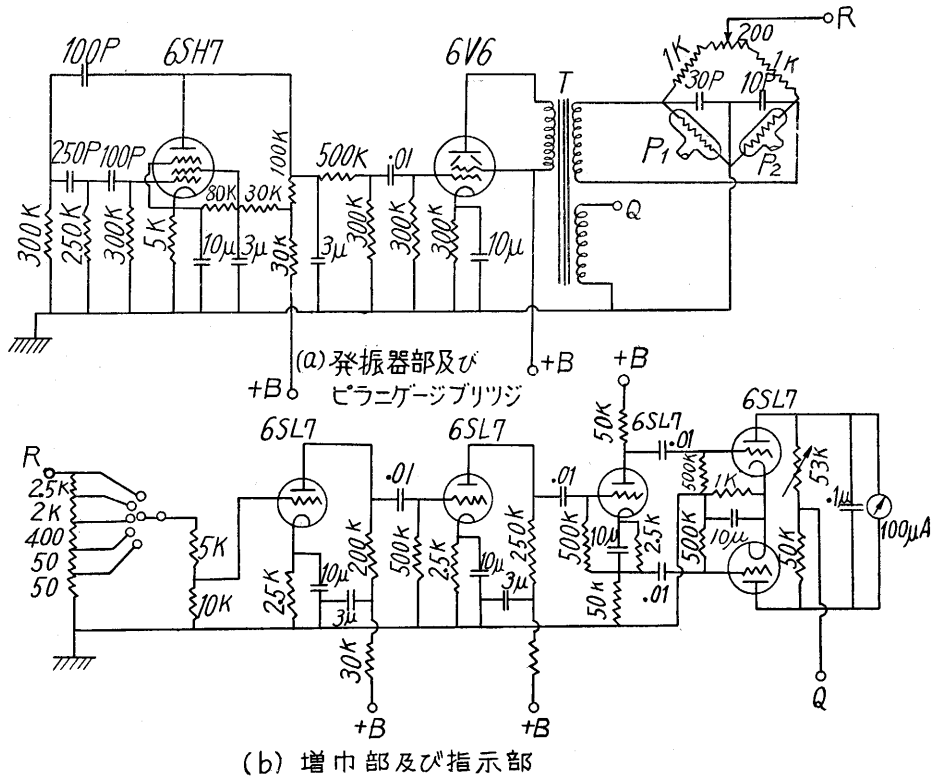
第 1 図 差動ピラニゲージ

することによって、また出力指示に丈夫なメーターが使える、使い方のやさしいガルバノメーターをさけることができるのである。この場合増幅の限界はさげられない原因によって生ずるふらつきがメーター上に現れることによつてきまる。後に述べるようにこのふらつきは探さる最小の洩りをきめる重要な意味をもつものである。

(b) ピラニゲージ及び回路 使用したピラニゲージは直径 15ϕ 長さ約 10cm のガラス管の中に 40 W タングステン電球のフィラメントを 3 本直列にはったもので常温において全抵抗 40Ω 、フィラメントの温度は真空度 $10 \mu\text{Hg}$ 程度で電流 20mA で約 300°C 、40mA で約 400°C である。これでピラニゲージとしての感度は大凡 $0.02 \sim 0.03 \Omega/\mu\text{Hg}$ がえられ、次に述べる回路を用いたときの総合した感度は $8.3 \times 10^2 \mu\text{A}/\mu\text{Hg}$ であった。

回路は、出力の増幅を簡単にするために交流を用いることにするが、ハムをのがれるために自ら発振器をそなえることにした。第 2 図に示す如く 6 SH 7 の RC 発振器で約 1kc を発振し、これを 6 V 6 で電力増幅し、出力トランス T を通してピラニゲージのブリッジに電力を供給する。このトランスには出力指示回路に用いる同期整流回路のための reference voltage の巻線がつけてある。

増幅及び指示回路は次の通りである。まず 6 SL 7 2 段で増幅し次の 6 SL 7 で位相変換し、同期整流回路に入れる。この場合、ピラニゲージのブリッジのインピーダンスは低いのであるが、第一段の 6 SL 7 の代りに 1:50 程度の入力トランスを用いて、真空管を一段へらしても



第2図 差動ピラニゲージ回路

よいのはもちろんである。

B電圧は真空管定電圧回路より供給したが、フィラメント電源はとくに安定化していない。

(c) 真空系 主真空導管は30φのガラス管で約50cmへだてて油拡散ポンプ、ついで50l/minの廻転ポンプで排気している。反対側に試料となるガラスの毛細管リークと、ピラニゲージの中の真空度を適度に調節するための空気流し込み装置がつけてある。差動ピラニのついているところの排気速度は約0.81/secである。差動ピラニを実用にする場合は油拡散ポンプと廻転ポンプの中間につけて使用されるべきものであるから、この排気速度の値は丁度その場合予想される値と等しくしてある。ここにつけた拡散ポンプは全装置を高真空にして、ガス出しを行うよう念のため取りつけたものである。

トラップの活性炭は3φ×4mm程度の粒のものを約100cc使用した。このための真空抵抗に対応して、一方の腕につけたコックをしばって約0.31/secのコンダクタンスにして両方のピラニゲージの時定数が釣合った。このときの時定数は約2秒である。

3. 性能

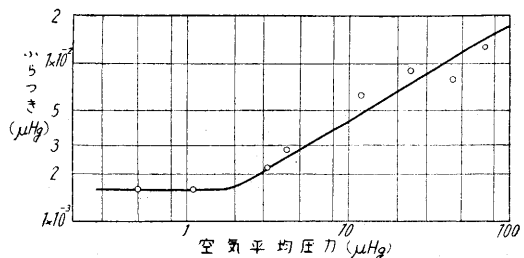
リークデテクターの性能をきめるものは、装置固有の特性としての出力メーターのふらつきと、probe gasに対するリークデテクターの感度である。

まずメーターのふらつきであるが、真空度の高いとこ

ろでは主真空配管における空気圧力そのもののふらつきに原因するものが大部分である。差動型の場合はもし二つのゲージが完全にバランスしており、真空系を静的に考えれば、このようなふらつきは皆無であるということになる。しかし実際の装置では単一ゲージに比較して数分の1より10分の1程度に減少するにすぎない。これは主して真空系を静的と見做すことができないためであろう。この原因によるふらつきは圧力の増加とともに一般に増加する。

一方真空のよいところでは上述のふらつきは無視できるものになる代りに、他のもの、恐らく電気回路の雑音等によるふらつきが主要なものとなる。この種のふらつきはもちろん真空度に無関係であって、このデテクターのふらつきの下限を与える。

われわれの装置において実測したふらつきを第3図に



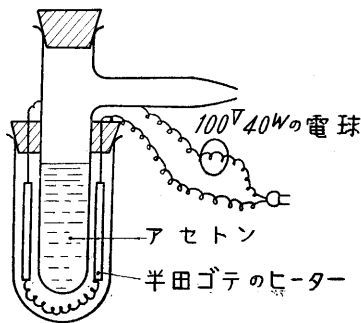
第3図 差動ピラニゲージのふらつき

示す。これで見ると明かに $P_s = 2 \mu\text{Hg}$ を境にしてふらつきが異なっている。

probe gas の有効さを表わすにはふつう「置換感度係数」 ϕ を用いる。これは

$$\phi = \frac{\text{[リークから空気の代りに probe gas] が入ったときの見かけの圧力変化}}{\text{[リークから入った空気による圧力]}}$$

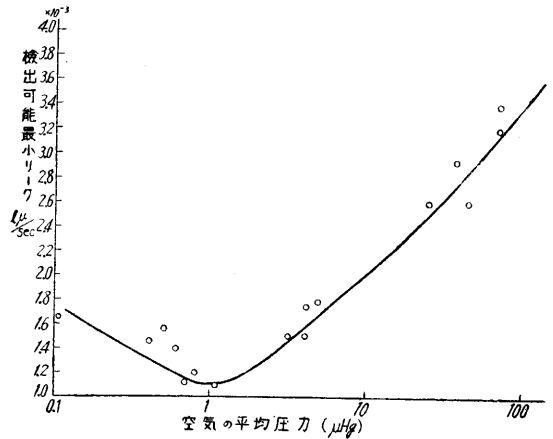
で定義される。しかし差動型の場合はこれを直接に測定することは必ずしも容易ではない。それは ϕ の分母に当るものを測定するにはいちいち差動型を単一ピラニゲージに組みかえなければならぬからである。そこでわれわれはリークデテクターとしての総合的な特性を測定し、それから逆に ϕ を推定してみた。アルコール、ベンゼン、アセトンの三種を試みたが、アセトンが最も大きく 1.2~1.5、他はその $\frac{1}{3}$ 程度であった。但しこれは probe をすべて気体の状態で用いたときの値であり、それを吹きつけるには岡本・辻両氏⁽³⁾にまねて第4図の如



第4図 Probe を吹きつける道具

き道具を用いた。probe を液体のまま直接にぬりつけると、 ϕ が蒸気をふきつけたときの5~10倍大きくなる。しかし小さな洩りの場合にはそれを一時的につまらせてしまうので、仕事が不確実になるので液体の使用はさげなければならないし、また大きな洩りの場合は感度をそれほど上げる必要がないので、とくに液体を使わなければならない理由はない。したがって何れにしても probe はいまのところ気体または蒸気を使うべきである。しかしリークデテクターの感度向上のために液体で確実に目的を果す方法を探すことは意義がある。また常温で液状の probe をふきつけるとき、リークが冷いと液体をそのままぬると同じ効果であるという報告がある⁽⁹⁾が、ふきつける量をわずかにして、リークのところにその温度における蒸気圧以上にならない程度の probe のふん囲気をつくるにとどめれば必ずしもそうではない。いずれにしても液体 probe のこのような使い方には研究を要する点が多々のごさされている。

われわれの装置で検出可能な最小リーク q_m を各真空度において測定したものが第5図である。この測定は次



第5図 検出可能最小リークの空気平均圧力に対する関係

の如く行った。大きさの知れている適当なリークをつけ、これを上述の方法でアセトンで probe した場合のメーターの振れを D とする。このときのふらつきがある場合に、検知しうるメーターのふれの最小を D_m とおくことにすればさらに D/D_m だけ小さなリークも検出しうるはずである。したがって第5図の q_m は

$$q_m = q / (D/D_m)$$

であって、洗し込み装置より空気を適当に洗し込むことによって、真空度をいろいろにかえて q_m の値をとったものである。

4. あとがき

結果として $1 \sim 3 \times 10^{-3} \mu\text{sec}$ の最検出可能な最小リークの値をえたが、いまのところこれを制約しているものは圧力が $> 2 \mu\text{Hg}$ では真空そのもののふらつき、 $< 2 \mu\text{Hg}$ では電気回路に原因するものであるように思われる。差動ピラニは拡散ポンプの背圧側で使用されるものであるから、その使用真空度は大凡 $\sim 10 \mu\text{Hg}$ であるから、さらに実用的な意味でのこの装置の感度を向上するためには電気回路以外のところ、たとえば主配管中の真空度のふらつきを小さくするとか、バランスを向上する。あるいは ϕ の大きな probe gas をさがす。液体の probe を上手につかう等ということに問題がある。しかしさきに述べたように工業的目的では要求されている探すべきリークが $\leq 10^{-2} \mu\text{sec}$ であるとするならば、このままでも十分目的に適い、装置、使用法の容易さと相俟ってかなり理想に近いリークデテクターであると思われる。(1954・4・13)

文 献

- (1) 富永：生産研究 5, 185 (1953, No. 8)
- (2) 石井博氏（電気試験所）の御教示による。
- (3) 岡本・辻：東芝レビュー 8, 525 (1953, No. 7)