真空計の校正と真空度標準 (I)

中山 勝 矢*

(昭和45年2月21日受理)

Calibration Systems and Standard for Vacuum Gauges

Katsuya NAKAYAMA

(Electrotechnical Laboratory, Tanashi, Tokyo)

(Received Feb. 21, 1970)

1. はじめに

何かを測定しようとする場合、当然つぎのことが問題になる。すなわち、

- (1) 測定すべき対象がはっきりしているか、
- (2) 測定器と測定対象との関係が明らかになっているか、
- (3) 測定器が既和の大きさの測定対象によって値づけされているか、

ということである。そしてさらに、測定結果の信頼度を増すためには、校正された測定器相互の間の関係が確立されている必要がある。つまり、個々の測定器がおおもとの標準器とどう関係にあるかということである。これは標準というシステムの確立にほかならない。

真空が広く各方面で利用されるようになって、真空計は単なる真空の程度を示すインディケータではすまされなくなった。いまや精度の保証された定量的な計量器であることが、強く要請されている。

真空度の測定は、いろいろの物理量の測定のなかでも比較的むずかしいものの1つである。測定結果に疑問の生じることが少なくない。たしかに、真空計そのものに起因する問題も多くあるが、より根本的なことがらとして、上に列挙したような点が十分に検討されずに残されていたような気がする。

ここでは、まず測定対象である真空度を粗上に引き出し、これに対して詳しい検討を加えたい。真空度の測定 真空計の校正、さらに真空度の標準についての議論は測定対象の物理量を明確にすることなしには進められないからである。そしてそのあとで真空計の校正法を概観し、最後にわが国における真空度標準の現状を述べるこ

とにしたい。

2. 真空度と気体の圧力

2.1 真空度の定義

真空の程度を表わすのが真空度とするのが、もっとも素朴な考え方である。しかしこれではあまりにも漠然としていて取扱いに困惑を覚える。

そこで、この考え方を一歩進めるとしよう。そうすると、そこに存在する気体の量の多少、あるいは気体の粗密の度合、単位空間にある気体分子の数といったもので真空の程度を表わすことになるであろう。つまり、物理的には、気体の分子密度（単位体積あたりの気体分子数）で真空度を表示することである。

しかし、従来から真空技術の分野でとっている真空の程度の表示法はこれと異なっている。すなわち、衝突する気体分子が壁面に与える運動量を意味するところの圧力で示す。

いま、1つの真空槽を考える。このなかでは気体の流れがなく、温度は T で、Maxwell-Boltzmann の速度分布則が成立しているとする。つまり、気体全体が温度平衡に達していて、いかなる方向にも、飛ぶ分子の数は等しく、速度分布は同じであるとする。この場合、真空槽内における気体の分子密度 n と、器壁のうける圧力 p との関係は、つねに

$$p = nkT \quad \dots\dots\dots (1)$$

であり、 n と p とは比例関係にあるから、真空度を分子密度と定義しても、圧力と定義しても困ることはない。

温度 T が異なるときは補正すればすむ。また、このような状態では、真空槽内のいかなる位置にいかなる向きに置かれた面でも、受ける圧力の大きさは同じである。

今日、世界的に、ほとんど例外なく、真空の程度は気

* 電気試験所（東京都田無市向台町5-4-1）

体の圧力をもって示されている。したがって、その単位はニュートン毎平方メートル(N/m^2)であり、水銀柱ミリメートル(mmHg)であり、トル(Torr)である。もちろん、これらは厳密に定義された圧力の単位であって、質量、長さ、時間という3つの基本単位から導かれている。

気体の圧力をもって真空の程度を表示することは、初期の真空の利用が大部分その吸引力に限られ、しかもその程度が液柱の高さの差によって測定されていたことを考えると、实际的であるとともに具象的であったといえよう。現在、超高真空領域に至るまで真空度を圧力で表示しているのは、単に慣習によるというよりも、低真空を含む真空の全領域での表示の連続性を重視するからである。

以上のような事情を考慮に入れて、ここでも気体の圧力をもって真空の程度を表示することに決める。つまり、真空度と圧力とは同義であるということにするのである。これはあくまでも定義の問題であるということを強調しておきたい。

2.2 気体の流れと真空度

つぎに真空槽内に気体の流れのある場合を考える。この場合、Maxwell-Boltzmannの速度分布則は流れの方向にひずんでいるから、(1)式の関係は成立しない。

極端な例を図1に示す²⁾。図の(a)は、すでに述べたような気体全体が温度平衡に達していて、いかなる方向にも、飛ぶ分子の数は等しく、速度分布は同じである場合である。図の(b)では、気体はA面でのみ発生し、分子はここからすべて側壁B、Cに平行に走り、D面に至って完全に捕えられるものとする。(b)の場合、真空槽内の単位体積中に存在する気体分子の数 n は図の(a)の場合と同じであるとしても、D面の受ける圧力 p_D は、(1)式によって与えられる p の4倍であることが簡単に導かれる。もちろんB面およびC面での圧力 p_B, p_C は零である。

このような例は、クライオポンプのような凝縮面を含む真空システムにおいてのみ見られるのかというと、そうではない。気体分子が真空槽中をビーム状になって流れている場合、あるいは真空ポンプによる排気がたえず行なわれている場合、さらに一般的にいて、真空システムのなかに気体の放出源があり、他方に気体の消滅するところ(ポンプやトラップ)が存在する場合には、つねに気体の流れがあるわけで、図の(a)と(b)との両方の状態が混在していると理解してよからう。

気体の流れがある場合、真空槽の壁面、あるいは真空槽内におかれた面の受ける圧力が面の位置と向きによって変わることがわかったが、これは分子密度 n と気体の圧力 p との関係が一義的に決められなくなることを

図1 壁面のうける圧力

意味する。この場合、圧力をもって真空度と定義しておいてよいのかという疑問が生じる。

分子密度で真空の程度を表示するのなら、真空槽内の各点ごとの値が決まるが、圧力表示の場合にはその点で、面の方向も指定しなければならない。また図の(b)からわかるように、真空槽内にかなり多量の気体が存在しても、圧力が零、つまりまえの定義にしたがえば真空度が零という場合がでてくる。粘性流領域においては動圧と静圧という概念が確立しているが、分子流領域においてはこの点不明確である。真空度の概念を圧力の概念にまで引下げてしまえば、動圧と静圧に類した考え方によって整理がつくようにも思われるけれども、真空の程度、あるいは残留気体の量といった真空技術がもっとも興味をもつ点に立って考えてみると、問題が残るといわざるを得ない。

3. 導管付きの真空計による真空度測定

3.1 流れのない場合

つぎに、真空槽に真空計が導管を使って取り付けられている場合を考えてみよう。一般に、真空計は、真空計内の圧力、分子密度、あるいは入射頻度などに依存する物理量を測っているものであるから、はじめに指摘したように、これらの量が真空槽における気体の分子密度や圧力といかなる関係にあるのかを調べておくことが大切である(図2)。

導管付き真空計の場合、真空槽と真空計との間の平衡状態は、粘性流領域では圧力によって、分子流領域では入射頻度によって保たれていると考えられる。真空槽側の導管入口における気体分子の入射頻度 Z は、真空槽内でMaxwell-Boltzmannの速度分布則が成立っている場合、真空計導管の取付け位置や導管入口の向きや大き

図2 分子流領域における平衡関係

さに関係なく、つねに

$$Z = \frac{p}{\sqrt{2\pi mkT}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

あるいは

$$Z = n \sqrt{\frac{kT}{2\pi m}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

である。ここで、 m は気体分子の質量、 n は分子密度、 k はボルツマン定数、 T は真空槽における気体の温度である。

真空計内においても、 T' なる温度で平衡状態に達しているとする。真空計側の導管入口における気体分子の入射頻度 Z' は、同様に

$$Z' = \frac{p'}{\sqrt{2\pi mkT'}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$= n' \sqrt{\frac{kT'}{2\pi m}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

で与えられる。

したがって、仮に真空計内の分子密度 n' に比例した出力を与える真空計を例にれば、 n' と真空槽内の圧力 p 、あるいは分子密度 n とは、つぎのような関係にあることがわかる。すなわち、測定領域が分子流領域にあるとして $Z=Z'$ とおき、(2)、(3)、(5) 式から次のような式を得る。

$$n' = \frac{p}{k \sqrt{T T'}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$= n \sqrt{\frac{T}{T'}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

真空度を圧力と定義したのならば、真空計は(6)式の関係で真空槽内の真空度(圧力 p)を測定していることになり、真空度を分子密度と定義したのならば、(7)式によって分子密度 n が測れることになる。

圧力 p' を測っているマクラウド真空計や隔膜真空計を分子流領域で使う場合は、やはり $Z=Z'$ とおき

$$p' = p \sqrt{\frac{T'}{T}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$= n k \sqrt{T T'} \quad \dots\dots\dots (9)$$

である。ところで粘性流領域では

$$p' = p \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$= n k T \quad \dots\dots\dots (11)$$

であるから、中間領域ではやや複雑な挙動を示すことになる。

熱伝導真空計のように、感圧部(フィラメント)に対する気体の入射頻度 Z' に関する物理量を測定している真空計では、分子流領域で使う限り

$$Z' = Z \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$= \frac{p}{\sqrt{2\pi mkT}} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$= n \sqrt{\frac{kT}{2\pi m}} \quad \dots\dots\dots (14)$$

である。粘性流領域になると $p' = p$ から、次式を得る。

$$Z' = \frac{p}{\sqrt{2\pi mkT'}} \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$= n T \sqrt{\frac{k}{2\pi m T'}} \quad \dots\dots\dots (16)$$

3.2 流れのある場合

問題は、やはり真空槽内に気体の流れのある場合である。そのときには、(2)式および(3)式をこのような形で書きあらわすことができない。すでに圧力について検討したのと同様に、入射頻度も面の位置と向きによって変わることが、図1を参照すれば容易に理解できよう。

さらにまた、温度が均一で一定であったとしても、面のうける圧力 p と入射頻度 Z との関係は、場所によって異なることもわかっている。図3は、長さ L と直径 D とが等しい円筒管に関する例である³⁾。この場合、円筒管

図3 流れのある場合の導管壁における圧力と入射頻度との関係

の一方は絶対真空中に、他方はきわめて大きな気体溜めにつながれているものとして、モンテカルロ法により壁面での圧力 p と入射頻度 Z とを求めた。壁面に衝突する気体が Maxwell-Boltzmann の速度分布則にしたがっている場合には、 Z に対して、 p ではなく、 p' が得られるはずなのである。

この差は気体の流れに起因する。気体に流れがあると壁面に斜めに入射する分子の割合が多くなる。斜め入射の場合、入射する分子数、つまり入射頻度 Z は同じだとしても、圧力は面に垂直な速度成分だけが関係するから当然 p' ではなく、 p のように小さくなってしまう。

まえには、流れのある場合の分子密度 n と圧力 p との関係を論じたが、この例からも明かなように、圧力 p と入射頻度 Z との関係、さらに分子密度 n と入射頻度 Z との関係も一義的に決まらないことがわかる。つまり流れと面の向きとがベクトルによって示されるとすれば、壁面の圧力はテンソル的な記述になると思われる。したがって真空計指示値と真空槽内の圧力あるいは分子密度との関係も単純なものではなく、とくに分子流領域では対応づけがきわめて困難である。

ただ、真空計と真空槽とを含めた系全体の幾何学的構造と気体の流れの様相が一定である場合、分子流領域では、導管付き真空計の出力が真空槽内の気体の分子密度と比例関係にあるものと推測される。したがって相対的な指示は可能で、大まかな真空の程度を知ることではさう。しかし、本来の意味での圧力で表示することには問題を感じざるを得ない。

4. 真空計の校正

以上述べたように、流れのある場合の真空度測定は非常に問題が多い。流れの様相、真空槽の構造、真空計の取り付け方等の規定しにくい要因によって測定値が左右される。またさらに、そのような場合には、真空度の定義そのものにも疑問が生じる。

したがって、現段階では、流れのない状態に限って真空計の校正と真空度の標準の問題を論じることにした。分子密度、圧力、入射頻度相互の関係を簡単にするために、校正の主体となる真空槽内は温度均一で、一定とし、気体も単一成分で、その種類も原則として既知であるとする。

真空計を校正する方式は、2つに大別できよう。その1つは、気体の圧力のよくわかった場を作り、ここに被校正真空計をつないで値づけをする方式で、ビルドアップ法⁴⁾、膨脹法⁵⁾、およびコンダクタンス法^{6,7)}がこれにあたる。他は、圧力の絶対測定ができる圧力計を作って被校正真空計のつないである場の圧力を決定し、この値

図4 ビルドアップ法

図5 膨脹法

をもって校正を行なうというものであって、U字管マンメータやマクラウド真空計が圧力の絶対測定のために用いられる⁸⁻¹³⁾。

4.1 ビルドアップ法と膨脹法

ビルドアップ法は、図4に示すように容積のわかった真空槽内に気体を一定流量で導入してゆくものである。流量 Q 、真空槽容積 V 、および時間 ΔT の測定が精度よくできれば、ある時刻における圧力 p は

$$p = \left(\frac{Q}{V} \right) \Delta t + p_0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

で決定できる。 p_0 は気体を流し込みはじめたときの圧力で、これは一定であるとする。

膨脹法では、気体の一定量 $p_1 V_1$ を容積 V の真空槽内に膨脹させるもので、そのときの圧力 p は

$$p = \frac{p_1 V_1 + p_0 V}{V + V_1} \quad \dots\dots\dots (8)$$

で決定される(図5)。この場合の p_0 は、バルブ V_2 を開くまえの真空槽 V における圧力である。

以上2つの方法は、いずれも溜め込み式であるから、器壁における気体の吸着離脱、および真空計のポンプ作用等の不確定な要素に影響され易い。また気体の流れに関しては、膨脹法では問題ないが、ビルドアップ法では

流し込み速度と流し込み方法、さらに真空計の位置によって影響がでるかも知れないという不安が残る。

ビルドアップ法において測定精度を決めるものは流量 Q であろう。 Q の値が小さい場合、その測定はかなりむずかしい。膨張法では、結局膨張まえの圧力 p_1 の測定に問題は還元され、 p の測定精度は p_1 のそれを越えることができないはずである。したがって圧力の通降器といってもよいであろう。

5.2 コンダクタンス法

コンダクタンス法というのは、ある流量の気体を既知のコンダクタンスの配管を通して排気し、圧力のおかった場を作ろうとするものである。コンダクタンスとしては、一番疑問が少ないということで、図6に示したようにオリフィスを使うことが多い。

いま、コンダクタンスが F で、一定流量 Q の気体が流し込まれている場合には、圧力差 Δp は

$$\Delta p = \frac{Q}{F} \quad \dots\dots\dots (19)$$

となり、排気系側の圧力が十分に低いときには、被校正真空計の取り付けである空間の圧力 p はつぎのようになる。

$$p = \frac{Q}{F} \quad \dots\dots\dots (20)$$

コンダクタンス法でも Q の測定精度が問題になることは明白である。また流れについては、これは本質的であって避けることができない。流れのため被校正真空計が取り付けである点における圧力そのものの定義が問題になるばかりか、(19)式の意味があいまいになる。また、オリフィス近くと真空計取付け口との間の圧力差も考える必要があろう。

図6 コンダクタンス法

図7 球形ドームによるコンダクタンス法

図8 Q の測定にもコンダクタンスを使うカスケード方式オリフィスコンダクタンス法

さらに重大な問題は、オリフィスコンダクタンスといえども、図6のように空間が容器の壁で区切られ、試料気体を一方から流し込んでいるときには、無限に広い空間におかれたオリフィスのコンダクタンス $\bar{v}/4$ ($\bar{v}$ は気体の平均速度) にならないということである。図7のような球形のテストドームを使い、気体の導入もすべての壁面で入射分子の数が均一になるような方法で行なう場合、壁面における気体分子の反射が余弦法則にしたがっているとすれば、壁の一部にあげられたオリフィスの面積があまり大きくないという条件の下で、そのコンダクタンスは $\bar{v}/4$ となる¹⁴⁻¹⁶⁾。もしオリフィスの面積が球の内表面積の1%なら、この孔のコンダクタンスの $\bar{v}/4$ からのずれも1%とみられる。円筒状のテストドームにおける、オリフィスの面積とコンダクタンスとの関係は、十分に解明されたとはいえない。

微量な Q の測定を行なうため、とくに高真空では図 8 のようにコンダクタンスを使うことがある⁷⁾。この場合、1 次側の圧力が 2 次側の圧力に比べて十分に高いとすれば、流量 Q は

$$Q = p_1 F_1 \quad \dots\dots\dots (21)$$

で与えられる。ここで p_1 は 1 次側圧力、 F_1 は気体導入口におけるコンダクタンスである。これをさらに次の段のコンダクタンス F_2 で割って、被校正真空計の取付けてある空間の圧力 p_2 を得るものとすれば

$$p_2 = \frac{F_1}{F_2} p_1 \quad \dots\dots\dots (22)$$

となり、 p_2 の精度が p_1 のそれを越えることはあり得ない。この場合、簡単のためにコンダクタンスの下流側の圧力は上流側の圧力に比べ、十分に低いとしたが、無視できないならば補正をする。とにかく、このような流量 Q をコンダクタンスを使って測定する校正の方法は、圧力の分割器、あるいは通降器に過ぎず、真空計を絶対校正していることにはならない。

もし考え方を変えて、低真空において精度の高い圧力計がすでにあり、これを基準にして高真空における真空計の校正を行ないたいというのであれば、現段階においては膨張法よりもはるかによい方法である。この方式を実際に行なう場合、第 2 室のガス出しが問題になるが、文献(7)のように、オリフィスのとなりにバルブを設けるのもよい方法である。

4.3 圧力の絶対測定を行なう方法

特定空間の気体の圧力を、圧力の絶対測定が行なえる圧力計によって決定する方式には、NBS が試みたような油マノメータの液面の高さの差を精密測定する方法と^{9,10)}、高精度マクラウド真空計による方法とが、高真

図 9 動的平衡状態においてマクラウド真空計を用いる方式 (A 点より上流では流れがない)

空における真空計校正法として知られている¹¹⁻¹³⁾。水銀マノメータによる方法⁸⁾に比べ、油マノメータによる方法は可測範囲を高真空側に約 1 桁広げられると考えられる。

NBS の A. M. Thomas ら⁹⁾が行なった光の干渉を用いる方法では、 1×10^{-3} Torr の圧力で 55 の干渉じまの移動を観測したから、1/10 の移動が観測できるとすると、精度 1 % で測定できる圧力は 2×10^{-4} Torr となる。

しかし、油マノメータ法は、系の加熱脱ガスの困難なことから、油による気体の吸収放出という根本的問題がある。この点水銀マクラウド真空計の方が優れている。油を使ったマクラウド真空計も、可測範囲は高真空側にのびるが、加熱脱ガスと気体の吸収放出に関して油マノメータと同じ問題が存在する。

水銀マクラウド真空計方式の場合、マクラウド真空計で圧力の決定される空間を、ビルドアップ法や膨張法の場合と同じようにポンプ系から切り離してしまうと、やはり器壁や真空計のガス放出、吸着、吸収等の影響を受け易い。幸いなことに、この方式では系を封じ切りにす

図10 電気試験所の真空度標準装置

る必要はないのであって、図9のように、動的平衡状態にあってでも何らさしつかえない。すなわち、このようにポンプ系に対して開いている系であって、しかも流れのない空間が使えるということは、圧力の絶対測定を行なう方式の大きな利点である。ポンプ系に対して校正のための特定空間が開かれているゆえに、分子流領域では他の気体の存在に関係なく、器壁からの放出ガスのような不純物は排気されてゆくものと考えてよい。この点に関しては次節で詳しく述べる。

5. 真空計校正装置の実例

真空計校正装置の実例として、高精度のマクラウド真空計を基準とする電気試験所の真空度標準装置について説明する。マクラウド真空計は、次回に詳しく述べるのでここでは省く。

5.1 装置の構成に関する考え方

流れのある場合の真空度については、理論的にも未解決な問題の多いことをすでに述べた。この装置の構成は図10のようになっており、流れのない状態で真空計の校正ができるように、とくに配慮してある。

真空計の校正が行なわれる真空槽において、流れのない圧力一定の低圧状態を実現するため、真空ポンプで十分に排気したのち封じ切り、適量の気体を導入したとする。器壁からのガス放出量を、この場合、単位面積あたり $10^{-8} \text{ Torr} \cdot \text{l/s} \cdot \text{cm}^2$ としよう。この値は、特別な加熱脱ガス操作なしに長時間排気を続けた場合に、ステンレス鋼やガラスの壁面に関して得られるものである。真空槽の内壁の表面積を 10^3 cm^2 とすると、全ガス放出量 Q_g は $10^{-5} \text{ Torr} \cdot \text{l/s}$ となる。真空槽の容積 V が 2 l ならば放出ガスによる圧力 p_g は時とともに上昇して、封じ切ったのち $\Delta t = 200$ 秒で

$$p_g = \frac{Q_g}{V} \Delta t \quad \dots\dots\dots (23)$$

$$= 10^{-3} \text{ Torr}$$

になってしまう。

これを図10のように封じ切ることなく、真空槽と真空ポンプとの中間の部分から気体を導入し、真空ポンプの排気速度と流入する気体の量とで動的平衡状態を形成させるとする。気体導入部の排気速度 S が小さくて、たった 1 l/s であったとしても、放出ガスによる圧力 p_g は

$$p_g = \frac{Q_g}{S} \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$= 10^{-5} \text{ Torr}$$

ですみ、しかも p_g の時間に対する安定性もよい。なぜなら、 S は本来一定しており、 Q_g は長い時間の排気の

後では、その時間的変化が非常に遅いからである。

被校正真空計として電離真空計が取り付けられた場合、封じ切り方式では、真空計のポンプ作用のために放出ガスによる圧力上昇は抑えられるが、同時に校正のために導入された気体も失われることになり、真空槽内の圧力は一定しない。はじめに $P_0(\text{Torr})$ だけ気体を導入し、真空計の排気速度が $S'(\text{l/s})$ の場合、 t 秒後の圧力 $p(\text{Torr})$ は

$$p = P_0 \exp\left(-\frac{S'}{V} t\right) \quad \dots\dots\dots (25)$$

となる。もし $P_0 = 10^{-2} \text{ Torr}$, $V = 2 \text{ l}$, $S' = 0.01 \text{ l/s}$ だとしても、2000秒後には p は 10^{-6} Torr になってしまう。

これに対し、封じ切らない方式では、真空計のポンプ作用の影響は少ない。すなわち、放出ガスに対する真空計の排気速度が、校正のために使われるアルゴンや窒素に比べて100倍も大きく、約 1 l/s だったとしても、放出ガスによる不純物圧力は半減する程度で、時間的変動は少なく、校正のために導入される気体に対しては、その圧力に1%の影響を与えるに過ぎない。

いま仮に、器壁からのガス放出量を単位面積当たり $10^{-8} \text{ Torr} \cdot \text{l/s} \cdot \text{cm}^2$ としたが、この値はもっと減らしておくべきである。真空ポンプの実効排気速度は、つぎの項で述べるような理由により 1 l/s 程度にならざるを得ないから、校正範囲を圧力の高い方から $1 \times 10^{-6} \text{ Torr}$ までとし、放出ガスによる分圧をつねに全圧の1%以下に保つとすると、ガス放出量として $10^{-10} \text{ Torr} \cdot \text{l/s} \cdot \text{cm}^2$ という値が得られる。現在までの研究によれば、この値はいささかの加熱脱ガスを要するものである。

装置を加熱脱ガスしなければならないもう1つの理由は内部に付着した水銀を除くためである。大気圧にしたときに水銀表面に酸化物の生じることが考えられるが、これも 300°C 以上の加熱で解離する。

このように装置は全体を加熱脱ガスする必要があったので、ガラス製とした。もちろんグリースコックは使用していない。全部をステンレス鋼で作ることは可能であるが、水銀の存在が材料の選択をむずかしくする。たとえば、銅やアルミニウムのガスケットは使用できない。マクラウド真空計や電離真空計との接続はコパールシールとなろう。全金属製装置の場合、内部に付着して残っている水銀の有無が見きわめにくいという操作上の問題がある。そのようなことから、この装置はガラス製になったのである。

5.2 排気系

主ポンプとしては、油拡散ポンプと水銀拡散ポンプとが考えられるが、油蒸気および熱分解生成物による汚染

を極力避けたいため、水銀拡散ポンプを採用してある。

拡散ポンプの動作不安定による排気速度の変動は、校正を行なう真空容器内の圧力に影響をおよぼす。拡散ポンプの排気速度を S_0 、配管のコンダクタンスを F 、校正のための気体の導入口における排気速度を S とすると

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{S_0} + \frac{1}{F} \quad \dots\dots\dots (26)$$

だから、導入している気体の流量が Q の場合、この点の圧力 p はつぎようになる。

$$\begin{aligned} p &= \frac{Q}{S} + p_g \\ &= \frac{Q}{F} \left(\frac{F}{S_0} + 1 \right) + p_g \quad \dots\dots\dots (27) \end{aligned}$$

ここで p_g は器壁からの放出ガスによる圧力である。もし、 $S_0 \gg F$ であれば、 p は S_0 の変動に左右されなばばかりか、かなり高い圧力領域でも安定に保たれることになる。

器壁からの放出ガスおよび被校正真空計のポンプ作用の影響をできるだけ小さく抑えるのには、校正を行なう真空容器における実効排気速度は大きいほどよい。しかし配管の長さが1~1.5mになるので、外径30mm程度のガラス管を使うとしても、 F は1~2l/sが限度である。したがって、 S_0 として100~200l/sの拡散ポンプを使えばよいであろう。図10の装置では、はじめ口径80mmのガラス製水銀拡散ポンプを使用し、排気速度 S_0 は130~150l/sであったが、のちにほぼ同じ性能の全金属製水銀拡散ポンプにかえた。校正を行なうマニホールドにおける圧力の変動は0.2%以下、圧力の低い方から0.1Torrまで安定で、ニードルバルブにより流入させる気体の量 Q を変えるときは、マニホールド内の圧力を 10^{-6} ~0.1 Torrの間で任意に調節できた。

なおトラップ(A)~(D)は2重に入れて、水銀蒸気の除去に十分に注意を払ってある。ふつう、寒剤としては、固形炭酸アルコール混合物を用いている。トラップ(A)と(B)に

ついては、サーマルトランスパレーション効果による圧力差の生じることを防ぐ意味で、対称的に入れてある。

[文 献]

- (1) 昭和41年改正の計量法第5条。
昭和43年改正の計量単位令第4条。
- (2) T. A. Giorgi and C. Pisani : Vacuum 16(1966) 669.
- (3) 間仁田・中山 : 昭和43年春季応物講演会 30pE 1.
- (4) 例えば D. Alpert and R. S. Buritz : J. appl. Phys. 25 (1954) 202.
- (5) 例えば G. C. Fryburg and J. H. Simons : Rev. sci. Instr. 20(1949) 541.
- (6) 例えば A. J. Bureau, L. J. Lastett and J. M. Keller : Rev. sci. Instr. 23 (1952) 693.
C. E. Normand : Trans. 3rd Vacuum Symp. and 2nd Intern. Vacuum Congr. (Pergamon Press, 1961) p. 534.
J. R. Roehrig and J. C. Simons, Jr. : ibid. p. 511.
- (7) J. C. Simons and R. E. King : 1965 Trans. of 3rd Intern. Vacuum Congr. (Pergamon Press, 1967) p. 263.
- (8) J. M. Los and J. A. Morrison : Rev. sci. Instr. 22(1951) 805.
- (9) A. M. Thomas, D. P. Johnson and J. W. Little : Trans. 9th Nat. Vac. Symp. (McMillan Co., 1962) p. 468.
- (10) A. M. Thomas and J. L. Cross : J. Vac. sci. Tech. 4 (1967) p. 1.
- (11) C. G. J. Jansen and A. Venema : Vacuum 9 (1959) 219.
- (12) H. H. Podgurski and F. N. Davis : Vacuum 10 (1960) 377.
- (13) W. B. Nottingham and F. L. Torney, Jr. : Trans. 7th Nat. Vac. Symp. (Pergamon Press, 1961) p. 117.
- (14) B. C. Moore : J. Vac. sci. Tech. 2(1965) 211.
- (15) C. Meinke and G. Reich : J. Vac. Sci. Tech. 4(1967) 356.
- (16) B. Fletcher and J. F. Watts : Vacuum 17 (1967) 445.