

空気を利用して空隙容積を測定する 方法の實用化に就て

所 員 竹 村 勘 悉
中 野 學
久 保 田 鐵 也

目 次

1. 緒 言.....	(vii) ガス漏洩の影響.....
2. 測定法の原理.....	5. 構造及び許容諸条件と正確度との關係.....
3. 測定装置の様式.....	6. ガスの状態變化を斷熱的とせる場合の誤差.....
4. 測定結果の正確度を定める種々の原因と其關係.....	7. 測定装置の試作竝に測定實驗.....
(i) 測定すべき容積と既知容積との比.....	(i) 試作した測定装置.....
(ii) 本装置の正確度.....	(ii) 本装置の正確度の試験.....
(iii) 既知容積の最小限度.....	A. 關係各部の容積の測定.....
(iv) 兩容積内の湿度が測定結果に及ぶ影響.....	B. 試作装置による測定竝に其結果.....
(v) 測定中に於ける温度の變化の影響.....	C. 測定すべき容器をも水中に浸したる場合の測定結果.....
(vi) 測定すべき容積と既知容積との間に存する温度差の影響.....	(iii) 實際への應用實驗.....
	8. 結 論.....

1. 緒 言

ガスの特性 $pV = MRT$ を利用して、温度、壓力並びに體積を測定することは物理及び化學方面に於てはよく行はれて居る事柄であり、其代表的なるものに氣體溫度計、マツクレオドゲージ、並びにボルメノメータなどがある。

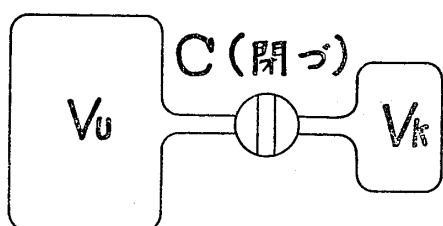
著者は機械工學者の立場から、機關の隙間の容積測定に此應用を試みたのである。實地では測定が容易で、而も大した誤差の無いことが要求されるので、測定に誤差を導入すると考へられる周圍の状況の變化が測定結果に及ぶ影響を調べて見た。其結果装置の適當なる設計と取扱とを以てすれば此方法は充分實用に供し得るものであることが判り、實驗結果によつて益々其實用價値を認めるやうになつた。

2. 測定法の原理

第1圖の如く既知容積 V_k と未知容積 V_u とをコック C を有する管で連結して置き、コック C を閉ぢて居る時 V_k 内のガスの状態を (p_1, V_k, T_0) とし、 V_u 内のものを (p_0, V_u, T_0) とすれば、次の關係が成立する。

$$p_1 V_k = M_1 R T_0 \dots\dots\dots(1)$$

$$p_0 V_u = M_2 R T_0 \dots\dots\dots(2)$$

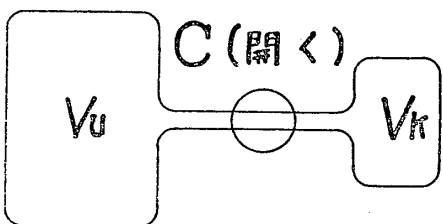


次にこの状態でコック C を開き、 $V_k + V_u$ 内の状態が $(p_2, V_k + V_u, T_0)$ に落ち着いたとすれば、次の関係が成立つ

$$p_2(V_k + V_u) = (M_1 + M_2)RT_0 \dots\dots(3)$$

従つて (1), (2), (3) 式より

$$V_u = \frac{p_1 - p_2}{p_2 - p_0} V_k \dots\dots(4)$$



今 p_0 を大氣壓とし、 H を大氣壓以上に測つた壓力を水柱で表はしたものとすれば、(4)式は次の如くなる

$$V_u = \frac{H_1 - H_2}{H_2} V_k \dots\dots(5)$$

依つて初めの水柱の読み H_1 と終りの水柱の読み H_2 とを求めれば、 V_u の値は容易に算出出来る譯である。

第 1 圖

3. 測定装置の様式

精確な結果を求めんが爲には測定中 ($V_u + V_k$) を常に一定に保つことが必要である。之が爲に次の如き装置を附加した。即ち第 2 圖の如く、壓力計 U 管と水溜 C とをゴム管を以て連絡し、此水槽を上下して水面 A を常に所定の零線に合致せしめ、水面 B の高さを読み取るのである。

4. 測定結果の正確度を定める種々の原因と其關係

(i) 測定すべき容積 V_u と既知容積 V_k との比

(5) 式から次の關係が求まる

$$\frac{\delta V_u}{V_u} = \frac{\delta V_k}{V_k} + \frac{\delta(H_1 - H_2)}{H_1 - H_2} - \frac{\delta H_2}{H_2} \dots\dots(6)$$

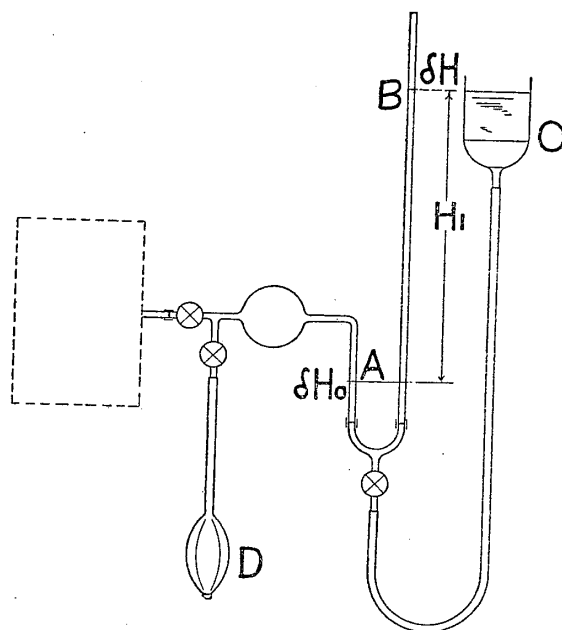
即ち測定結果の正確度は右邊の三項の中の最も大きい値に依つて定まる。従つて装置並に測定の正確度の間には次の關係が望ましい。

$$\frac{\delta V_k}{A_k} = \frac{\delta(H_1 - H_2)}{H_1 - H_2} = \frac{\delta H_2}{H_2}$$

今水柱の讀みに生ずる誤差 $\delta(H_1 - H_2)$ と δH_2 とに就いて考へて見ると、此間には大體

$$\delta(H_1 - H_2) = 2\delta H_0$$

なる關係がある。従つて上述の等式を満足させる爲には



第 2 圖

$$H_1 - H_2 = 2H_2$$

此より

$$V_u = 2V_k$$

なる関係が生じ、測定すべき容積は既知容積の二倍以上が良いことが分る。

(ii) 本装置の正確度

(6) 式の $\frac{\delta V_k}{V_k}$ は相當に小さくすることは困難で無く、結局 $\frac{\delta H_2}{H_2}$ を如何程まで許容するかによつて此装置の正確度が定まる。今水柱を肉眼で読み取るとしても、鏡尺を使用すれば、 δH を 0.2 mm 以下に保つことは困難でない。従つて $H_2 = 100$ mm 位になるやうにすれば、此場合得られる本装置の正確度は水柱の讀みの正確度

$$\frac{\delta H_2}{H_2} \times 100 = \frac{0.2}{100} \times 100 = 0.2\%$$

に依つて定まる。

(iii) 既知容積 V_k の最小限度

現在の測定装置に於て、上述せる如く水柱の読み取りに 0.2 mm の誤差を許し、而も測定の正確度を此程度に保つ爲には次の様にすればよい。即ち第 2 圖に於て A なる水面を零線に合致せしめる時に生ずる誤差 δH_0 に因る容積の變化 δV_k が、水柱 H_1 に及ぶ影響が此水柱の高さの讀に許した誤算以下であつて欲しい。そこで δV_k が H_1 に及ぶ誤差を讀取りの誤差より一桁小さいものに見た。即ち

$$\frac{\delta H}{10} = 0.02 \text{ mm}$$

今

$$pV_k = C$$

とすれば、

$$\begin{aligned} \delta p &= -\frac{p}{V_k} \delta V_k \\ &= -\frac{p}{V_k} \frac{\pi}{4} d^2 \delta H_0 \quad (\text{但 } d \text{ は } U \text{ 管の内径}) \end{aligned}$$

故に今、内径 2 mm の U 管を使用するものとし、零線の太さを 0.05 mm とすれば、

$$\begin{aligned} d &= 2 \text{ mm}, & p &= 10640 \text{ mm}, & (\text{圧力—水柱にて—大気壓以上 } 30 \text{ cm とする}) \\ \delta p &= 0.02 \text{ mm}, & \delta H_0 &= 0.05 \text{ mm} \end{aligned}$$

なる數値を入れて見ると上式から

$$V_k \doteq 80 \text{ c.c.}$$

なる値を得る。之は 0.2% の正確度を得る爲には V_k は大體 80 c.c. 以上を必要とすることを示し、従つて測定すべき容積は 160 c.c. 以上なる制限を受けることを示して居る。⁽²⁾

(iv) 兩容積内の湿度が測定結果に及ぶ影響

$$\begin{aligned} p &= \text{濕り空氣の壓力 } \text{kg/cm}^2 & M_a &= \text{濕り空氣中の空氣の重さ } \text{kg} \\ h &= \text{飽和水蒸氣の壓力 } \text{kg/cm}^2 & M_s &= \text{濕り空氣中の水蒸氣の重さ } \text{kg} \\ \lambda &= \text{關係湿度} & V &= \text{濕り空氣の體積 } \text{m}^3 \end{aligned}$$

(1) 之は水面を零線に合致せしめるのであるから、誤差は目盛の間を読み取る場合よりも遙かに小さく大體零線の太さで定まると考へて此値を採つたのである。

(2) U 管の内径を 1 mm とすれば此値は 1/4 まで低下する。

とすれば、空気に對しては

$$(p - \lambda h) V = M_a R_a T$$

水蒸氣に對しては

$$\lambda h V = M_s R_s T$$

なる關係が成立する。今

$$M = M_a + M_s$$

と置けば、此等の三式より濕り空氣に對する特性式として

$$\left\{ p - \lambda h \left(1 - \frac{R_a}{R_s} \right) \right\} V = M R_a T \dots\dots\dots (7)$$

が得られる。

そこで此狀態式を用いて、コックを開く前の狀態を夫々 V_k 内では

$$\left\{ p_1 - \lambda_k h_0 \left(1 - \frac{R_a}{R_s} \right) \right\} V_k = M_k R_a T_0$$

V_u 内では

$$\left\{ p_0 - \lambda_u h_0 \left(1 - \frac{R_a}{R_s} \right) \right\} V_u = M_u R_a T_0$$

とし、コックを開いた後の狀態を夫々

V_k 内では

$$\left\{ p_2 - \lambda'_k h_0 \left(1 - \frac{R_a}{R_s} \right) \right\} V_k = M'_k R_a T_0$$

V_u 内では

$$\left\{ p_2 - \lambda'_u h_0 \left(1 - \frac{R_a}{R_s} \right) \right\} V_u = M'_u R_a T_0$$

とすれば、此等より次の關係式を得る。

$$V_u = \frac{p_1 - p_2 - h_0 \left(1 - \frac{R_a}{R_s} \right) (\lambda_k - \lambda'_k)}{p_2 - p_0 - h_0 \left(1 - \frac{R_a}{R_s} \right) (\lambda'_u - \lambda_u)} V_k \dots\dots\dots (10)$$

そこで次に此式に含まれて居る λ'_k 竝に λ'_u を算出する。コックを開く前の既知容積内の水蒸氣と空氣との重量比を x_k とし、コックを開いた後測定すべき容器に流入した濕り空氣の重量を初めの全重量 M_k の $\frac{1}{n}$ とすれば、コックを開いて V_k より流出せる水蒸氣の重量 M_{sd} は次の如く示される。

$$M_{sd} = \frac{x_k}{n(Hx_k)} M_k \dots\dots\dots (11)$$

従つてコックを開いた後の既知容積 V_k 内に残つた水蒸氣の重量は

$$\frac{x_k}{1 + x_k} M_k - M_{sd} = \left(1 - \frac{1}{n} \right) \frac{x_k}{(1 + x_k)} M_k$$

故に此時の關係濕度は

$$\lambda_k = \frac{\left(1 - \frac{1}{n}\right) \frac{x_k}{1+x_k} M_k}{m V_k}$$

(但 $m =$ 飽和水蒸氣の重量 kg/m^3)

然るに、コックを開く前の關係濕度 λ_k は

$$\lambda_k = \frac{\frac{x_k}{1+x_k} M_k}{m V_k}$$

そこで此關係を前式に應用すると

$$\lambda_{k'} = \left(1 - \frac{1}{n}\right) \lambda_k \dots\dots\dots(12)$$

次にコックを開く前に於ける測定すべき容積内の水蒸氣と空氣との重量比を x_u とすれば、此時の水蒸氣の重さは $\frac{x_u}{1+x_u} M_u$ で表はされる。従つてコックを開いた後の全水蒸氣の重量は(11)式に示される V_k からの流入量を加へて

$$\frac{x_u}{1+x_u} M_u + \frac{x_k}{n(1+x_k)} M_k$$

で表される。故に此場合の關係濕度 $\lambda_{u'}$ は次の如き値となる。

$$\lambda_{u'} = \frac{\frac{x_u}{1+x_u} M_u + \frac{x_k}{n(1+x_k)} M_k}{m V_u}$$

然るに

$$\lambda_u = \frac{\frac{x_u}{1+x_u} M_u}{m V_u} \qquad \lambda_k = \frac{\frac{x_k}{1+x_k} M_k}{m V_k}$$

なる關係があるから此等の關係を應用すると

$$\lambda_{u'} = \lambda_u + \frac{\lambda_k}{n} \frac{V_k}{V_u} \dots\dots\dots(13)$$

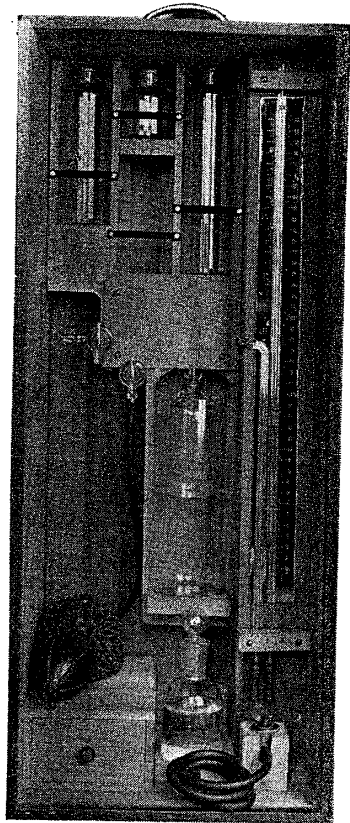
となる。此處で之に含まれて居る V_k と V_u の比を壓力の比の形に更める必要があるが、其爲には次の如くすればよい。

コック開放後に於ける V_u 内の状態を (p_2, V_u, T_0) で表はして來たが、之はコックを開く前の V_u 内のガス (p_0, V_u, T_0) とコックを開く前の V_k 内のガスの $\frac{1}{n}$ とが一樣に混合した時の状態を示すものに外ならない。従つて V_k より流入するガスの壓力 p に於ける状態を $(p_1, \frac{V_k}{n}, T_0)$ とすれば混合前後の關係は次式で與へられる。

$$\frac{p_2 V_u}{T_0} = \frac{p_0 V_u}{T_0} + \frac{p_1 \frac{V_k}{n}}{T_0}$$

之より

$$\frac{V_k}{V_u} = \frac{n(p_2 - p_0)}{p_1}$$



測定装置

即ち V_k と V_u の比が定まつたから之を (13) 式に代入すると λ_u' は次の如くなる。

$$\lambda_u' = \lambda_u + \frac{p_2 - p_0}{p_1} \lambda_k \dots\dots\dots (14)$$

尙 (12) 式に示される λ_k' の値には n の値が入つて居るからこれを他の形で表すこととする。即ち (p_1, V_k, T_0) なるコック開放前の既知容積 V_k 内のガスが等温變化をして、壓力 p_2 となつたとすれば、その時の容積 V_2 は

$$V_2 = \frac{p_1}{p_2} V_k$$

従つて壓力 p_2 に於ける V_k から流出ガス容積は

$$V_2 - V_k = \left(\frac{p_1}{p_2} - 1 \right) V_k$$

となる。故に上の二式より

$$\frac{V_2 - V_k}{V_2} = \frac{1}{n} = \frac{p_1 - p_2}{p_1}$$

そこで此値を (12) 式に代入すると λ_k' は

$$\lambda_k' = \frac{p_2}{p_1} \lambda_k \dots\dots\dots (15)$$

となる。之で λ_k' 並に λ_u' の値が算出出来た。そこで此等の値を前掲 (10) 式に代入すると V_u は次の如き形で示される。

$$V_u = \frac{p_1 - p_2 - h_0 \left(1 - \frac{R_a}{R_s} \right) \lambda_k \left(\frac{p_1 - p_2}{p_1} \right)}{p_2 - p_0 - h_0 \left(1 - \frac{R_a}{R_s} \right) \lambda_k \left(\frac{p_2 - p_0}{p_1} \right)} V_k$$

之を更に書直せば

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{(p_1 - p_2) \left\{ 1 - h_0 \left(1 - \frac{R_a}{R_s} \right) \frac{\lambda_k}{p_1} \right\}}{(p_2 - p_0) \left\{ 1 - h_0 \left(1 - \frac{R_a}{R_s} \right) \frac{\lambda_k}{p_1} \right\}} V_k \\ &= \frac{p_1 - p_2}{p_2 - p_0} V_k \dots\dots\dots (16) \end{aligned}$$

となり前掲の (4) 式と全く同形となる。之は大氣中の濕度並びに二つの密閉器中に存在する濕度又は蒸氣壓の差は測定結果に何等影響を及ぼさない事を示して居るもので、測定上都合良い事柄である。

(vii) 測定中に於ける溫度變化の影響

装置全體の溫度は一樣であるが之が時間的に變化する場合測定に及ぼす影響を調べて見る。

$$pV = RT$$

より V を一定とすれば

$$\delta p = \frac{p}{T} \delta T$$

故に今、測定時間中に $\frac{1}{100} \text{ } ^\circ\text{C}$ の變化ありとすれば

$$\delta T = \frac{1}{100}, \quad p = 10540 \text{ mm (= 水柱 20 cm),} \quad T = 290^\circ \text{K (= } 17^\circ \text{C)}$$

なる数値を用いて

$$\delta p = 0.36 \text{ mm}$$

なる値を得る。之は水柱に対する目測上の誤差 $\delta H = 0.2 \text{ mm}$ の値よりも大きな値であり結局此場合は水柱を 0.2 mm まで正確に讀んでも全く無意味であり更に測定 of 誤差はずつと大となる。

従つて温度に関しては相當なる注意を行ふことを必要とする。而して此場合測定 of 誤差を 0.2% に保たうとすれば

$$\delta p = 0.02 \text{ mm}$$

まで許すとして

$$\delta T = \frac{1}{200} ^\circ \text{C}$$

となり、測定時間中の温度の變化は此値以下なることを必要とする。

尙實際には室温に變化のある間は熱容量の相違によつて、 V_u と V_k との間に温度の差を生じ、之が又測定に誤差を導入する原因となる。

(vi) 測定すべき容積と既知容積との間に存する温度差の影響

コックを開く前 V_u 内の状態を (p_0, V_u, T_u) とし、 V_k 内の状態を (p_1, V_k, T_k) としコックを開いた後 V_u 内の状態を (p_2', V_u, T_u) 、 V_k 内の状態を (p_2', V_k, T_k) とすれば

$$\frac{p_0 V_u}{T_u} + \frac{p_1 V_k}{T_k} = \frac{p_2' V_u}{T_u} + \frac{p_2' V_k}{T_k}$$

なる關係がある。之より

$$p_2' = \frac{p_1 V_k T_u + p_0 V_u T_k}{V_k T_u + V_u T_k}$$

今

$$V_u = 2V_k, \quad T_u = T_k + \Delta t$$

と置けば、前式は次の如くなる。

$$p_2' = \frac{T_k(p_1 + 2p_0) + p_1 \Delta t}{3T_k + \Delta t}$$

然るに温度差無の場合のコックを開いた後の壓力 p_2 は

$$p_2 = \frac{p_1 + 2p_0}{3}$$

であるから上の二式の差を取ると

$$\begin{aligned} \delta p = p_2' - p_2 &= \frac{2(p_1 - p_0)\Delta t}{3(3T_k + \Delta t)} \\ &\doteq \frac{2(p_1 - p_0)\Delta t}{9T_k} \end{aligned}$$

そこで

$$p_1 - p_0 = 300 \text{ mm}, \quad T_k = 290^\circ \text{K}$$

とすると

$$\delta p = 0.23 \Delta t$$

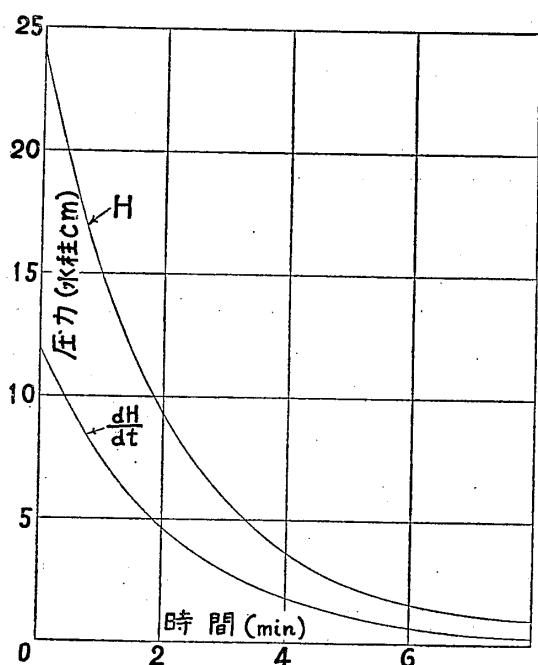
即ち温度差を $\frac{1}{10}^{\circ}\text{C}$ とすれば

$$\delta p = 0.02 \text{ mm}$$

となり、此程度の温度差は 0.2% の正確度を得るには差支へないことを知る。然し測定に相當の注意を拂はないと、此程度の温度差を保つことは困難である。特に既知容積又は、測定すべき容積が薄い材料で作られて居る場合は人體の接近又は電燈の接近によつて、直ちに相當の温度上昇を來し大なる誤差の原因となる。従つて斯の如き場合は容器を室温の水槽中に入れて、此影響を除去することが必要となる譯である。

(viii) ガスの漏洩の影響

上述せることは總て、ガスの漏洩の無い場合、即ち測定時間中に漏洩の爲に降下する水頭は目測にて認識し得ない程度の場合に就てのみ成立するのである。



第 3 圖

今漏洩のある場合の壓力と時間との關係を小型内燃機關に就て驗べて見ると、第 3 圖の如くなり、漏洩に因る壓力降下の割合 $\frac{dp}{dt}$ は壓力が小となると共に著しく小さくなる。而して此場合であれば、水頭 2 cm 程度では約一分間の壓力降下は殆んど無いから、此水頭を用いて測定するとすれば、得られる正確度は

$$\frac{\delta H}{H} = \frac{0.2}{20} = \frac{1}{100}$$

より 1% である。斯くの如く漏洩に依つて測定の正確度は支配される。測定の高い正確度を得るには H_1 を大にせねばならず、 H_1 が大となれば漏洩が甚しくなつて之が防止に大なる苦勞を要し、結局高い正確度が求めにくい。夫よりは H_1 を比較的低くして漏洩防止に費す苦勞を減じた方が利益である。然し著

者の機關隙間容積測定に對する經驗によれば、空氣漏洩はグリースを漏洩を起すと考へられる箇所に薄く塗つただけで完全に止めることが出來た。

5. 構造及許容諸條件と正確度との關係

以上述べたる事柄を總合して本装置による測定の正確度と其構造及び許容諸條件との間には第 1 表の如き關係を見る。

尙、機械關係に於て、普通には測定結果が 1% 程度の正確度を有すれば充分であるから、此表に依つて、主として温度の變化を注意しなへすれば本装置は實用に供し得る可能性が充分あることが分る。

6. ガスの状態變化を斷熱的とした場合の誤差

第 1 表

得られる 正確度	壓力計用 U 管の内 徑 d	使用すべ き既知容 積 $V_k = \frac{\pi}{2} d^2 p \frac{\delta H_0}{\delta p}$	測定出來 る容積 V_u	使用すべ き水頭 H_2	測定時間 中の許容 温度上昇 $\delta T = \frac{p}{T} \delta p$	V_k と V_u との間の 許容温度 差 $\delta t = \frac{9 T_k \delta p}{2 H_1}$	許容ガス 漏洩度	摘 要	
0.2 %	1 mm	c.c.以上 20	以上 $2 V_k$	cm附近 10	°C以下 0.005	°C以下 0.1	10 cm 水柱の 壓力で漏洩が 殆んど無けれ ば良い	$\delta H_1 = \delta H_2 = 0.2 \text{mm}$ $\delta H_0 = 0.05 \text{mm}$ $\delta p = 0.02 \text{mm}$ $T = T_k = 290^\circ \text{K}$	
	2	80							
0.4	1	10	"	5	0.010	0.2			5 cm "
	2	40							
0.6	1	7	"	3	0.015	0.3			3 cm "
	2	30							
0.8	1	5	"	2.5	0.020	0.4	2.5 cm "		
	2	20							
1.0	1	4	"	2	0.025	0.5	2 cm "		
	2	15							

上に述べた事はコックを開く前後のガスの状態變化が等温的であることを假定して居るが、實際はコックを開いた瞬間、既知容積 V_k 内のガスは斷然膨脹を爲し、同時に測定すべき容積内のガスも斷熱壓縮を爲す。而して之は時間と共に熱平衡で兩容積とも室温となつて、始めて等温變化と同じ壓力を示すのである。従つて周圍の事情が測定に充分の時間を與へ得る時は問題が無いのであるが、然らざる場合も實際には少くないと考へるで、此點も一應調べて見ることにする。

極端な場合を取つてコックを開いた直後の熱の流入も流出も行はれない時の壓力 p_2' を算出して見ると、 V_k 内のガスの斷熱膨脹並に V_u 内の瓦斯の斷熱壓縮は夫々

$$p_1 V_k^\gamma = p_2' (V_k + V_a)^\gamma$$

$$p_0 V_u^\gamma = p_2' (V_u - V_a)^\gamma$$

に與へられる此處に V_a は膨脹又は壓縮せる體積である。今

$$\frac{V_u}{V_k} = a$$

と置けば上の二式より p_2' は

$$p_2' = \left\{ \frac{p_1^{\frac{1}{\gamma}} + a p_0^{\frac{1}{\gamma}}}{1+a} \right\}^\gamma \dots\dots\dots (12)$$

にて與へられる、そこで一例として a を 2 とし p_2' を約 10 cm の水柱で讀まうとすれば p_1 は約水柱 30 cm の壓力に選ぶ方がよいから

$$p_1 = 1064 \text{ cm (大氣壓以上水柱 30 cm)}$$

なる數値を用いて上述の計算を行ふと

$$p_2' = 1044.11 \text{ cm}$$

となり等温變化とした場合の値 10 44 cm (大氣壓以上水柱 10. cm) との間には 0.11 cm の差があることが分る。

而して此値を (5) 式に入れて算出する時は

$$V_u' = \frac{30 - 10.11}{10.11} = 1.967 V_k$$

となり、等温變化をなすとした時は

$$V_u = \frac{30 - 10}{10} = 2.000 V_k$$

となる。

依て

$$\Delta V_u = 0.033 V_k$$

の差を生ずる。従つて

$$\frac{\Delta V_u}{V_u} = \frac{0.033}{2} = 0.016$$

故にこの場合は 1~2 % 程度の誤差を誘引することとなる。然し實際問題としてはコックを開いてから U 管の一方の水面を零線に合せて H_2 を読み取る迄には、40~50 秒の時間を要するから、上述の誤差は之より小なるものであることは明である。然し最悪の場合として 1% の誤差は覺悟しなければならない。而して今の場合測定の方の正確度は第 1 表により 0.2% であるが、この場合得られる正確度は結局 1% である。尙使用する水頭 H_2 を小さくすると断熱變化の爲の誤差は小さくなるが、測定の方の誤差が大きくなり、此場合も同様 1% 程度の誤差を生ずることとなる。

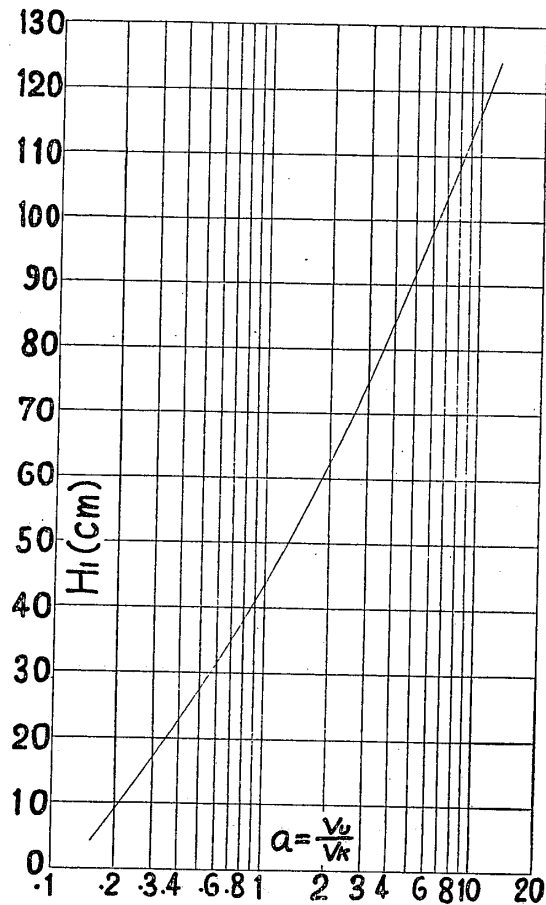
之を要するに結局断熱變化を行ふとしても、1% 程度の誤差を許容するならば、充分に使用の目的を達することが出来る。

尙上掲の (12) 式を見れば p_2' の値は V_u と V_k との比 a により、又始めの壓力 p_1 の値により變化する。而も此二つの値を適當に選ぶ時は p_2' の値を等温變化の場合の結果 p_2 に等しくすることが出来る。斯る點を與へる $p_1, (H_1)$ と a との關係を圖示すれば第 4 圖の如くであるが測定の性質によつては断熱變化の影響の全く無い斯かる點を選ぶことも一方法と考へる。

7. 測定装置の試作竝に測定實驗

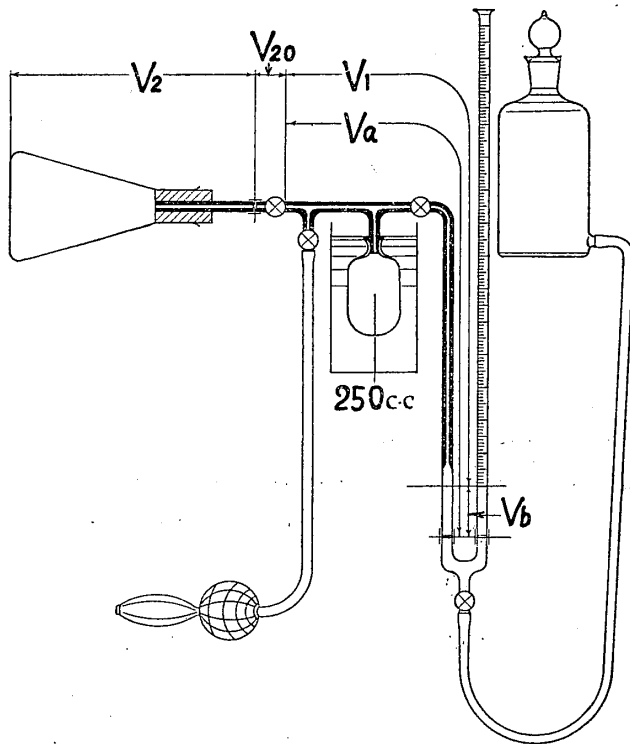
(i) 試作した測定装置

其構造の要點は第 5 圖に示す如くである。



第 4 圖

連絡用の管は内径 2 mm 外径 8 mm の肉厚硝子管を使用し、壓力計用 U 管は外径 8 mm の薄肉硝子管を使用し之にビューレットに於けると同じ方式の水頭明示装置と耗目盛とをほどこした。(1) 尙この場合は U 管の内径が大きいので、水柱を零線に合せるに望遠鏡を使用した。



第 5 圖

既知容積 V_k は 100 c.c. と 250 c.c. の二種を作り測定すべきものの大きさに應じて取換へ得る如くし且空氣漏洩の無いやうに磨合せて管に取けた。尙此容積は温度の影響を鋭敏に受けるから、之を防ぐ爲水槽に浸してある。又測定に於て初め V_k 内に壓力を與へるにはハンドブローに依る事とし、圖示する如くコックを通して之を取付けてある。之は掌の温度により温められたガスが送入されることを防ぐ爲と、作業上の便宜との爲に、ガス溜室を有するものにしてある。

(ii) 本装置の正確度の試験

他の方法で其容積を正確に測定し得る 500 c.c. のフラスコを採つて之を測定すべき容器として此容積を本装置で測定して其正確度を求めた。

A. 關係各部の容積測定

本装置の正確度の試験には關係各部の容積の正確なる測定が必要であるので、其測定方法竝に結果を先づ述べることにする。

a) V_k の測定 (第 5 圖参照)

$$V_1 = V_a - V_b$$

であるから V_a と V_b とを別々に測つて之を求めた。

V_a の測定には蒸溜水を使用し、0.1 gr まで正確に測定出来る天秤を使用した。其測定結果は次表に見る如くである。

測定番號	測定結果	摘 要
1	249.6 c.c.	水の温度 19 °C 密度 = 0.9984
2	249.5 c.c.	≒ 20 °C ≒ = 0.9982
3	249.6 c.c.	≒ 19 °C ≒ = 0.9984
平均	246.6 c.c.	

測定番號	測定結果
1	1.5 c.c.
2	1.5 c.c.
3	1.5 c.c.
平均	1.5 c.c.

V_b の測定にも蒸溜水を使用し、ビューレットで直接測定した。

(1) 實用上便利と考へてやつたのであるが、U 管の内径は成る可く細くして鏡尺を使用する方が測定が樂である。(§ 4, (iii) 参照).

従つて

$$V_1 = 249.6 - 1.5 = 248.1 \text{ c.c.}$$

b) V_{20} の測定(第5圖参照)

水銀を使用し重量法によつて測定した。其結果は右の通りである。

測定番號	測定結果	摘 要
1	0.10 c.c.	水銀の溫度 19°C 密度 = 13.55 ≧ ≧ ≧
2	0.10 c.c.	
3	0.10 c.c.	
平 均	0.1 c.c.	

c) V_2 の測定(第5圖参照)

蒸溜水を使用し重量法によつて測定した。其結果は右の通りである。

測定番號	測定結果	摘 要
1	549.3 c.c.	水の溫度 20°C 密度 = .9982 ≧ 19°C ≧ = .9984 ≧
2	549.4 c.c.	
3	≧	
平 均	549.4 c.c.	

B. 試作装置による測定並に其結果

實驗は測定すべきフラスコの附近から光源や熱源を去り溫度の變化が無いやう注意して行つたが、特に等溫變化を行はしめるといふ意味で時間を置いて読み取るといふことをせず、零點を合せ終ると直ぐ読み取つて行つたのである。斯くして得たる結果は第2表に示す如くである。

但し測定すべき容器の容積を本装置によつて測定したものを V_2' とする。

第 2 表

測 定 番 號	水頭の實測値		H_1 を讀み取りてより H_2 を讀み取るまでに要した時間	$H_1 - H_2$	$V_2' + V_{20} = V_1 \times \frac{H_1 - H_2}{H_2}$	V_2'	$V_2' - V_2 = \Delta V$	$\frac{\Delta V}{V_2} \times 100$	摘 要
	H_1	H_2							
1	30.51 ^{cm}	9.45 ^{cm}	40 ^{sec.}	21.06 ^{cm}	552.9 ^{c.c.}	552.8 ^{c.c.}	+3.4 ^{c.c.}	+0.62%	$V_1 = 248.1 \text{ c.c.}$ $V_2 = 549.4 \text{ c.c.}$ $V_{20} = 0.1 \text{ c.c.}$ 室溫の上昇割合 = 0.5~0.6°C/時
2	32.56	10.15	45	22.41	547.8	547.7	-1.7	-0.31	
3	30.98	9.65	45	21.33	548.4	548.3	-1.1	-0.20	
4	30.36	9.45	40	20.91	549.0	548.9	-0.5	-0.09	
5	32.40	10.05	50	22.35	551.7	551.6	+2.2	-0.40	
6	29.07	9.07	35	20.00	547.1	547.0	-2.4	-0.44	
7	29.65	9.26	40	20.39	546.3	546.2	-3.2	-0.58	
8	27.75	8.70	45	19.05	543.3	543.2	-6.2	-1.13	
9	30.79	9.63	40	21.16	545.2	545.1	-4.3	-0.78	
10	31.28	9.80	50	21.48	543.8	543.7	-5.7	-1.04	
					平均値	547.4	-2.0	-0.36	

第二表に依れば誤差は大體 +0.5%と -1.1%との間にあつて、平均すれば -0.4%となる。誤差の數値が一樣でないのは主として本測定装置に使用した U 管の内徑が大きく、且之に記入された零線の太さが大きい爲に零線に一方の水頭を合致せしめる時の誤差が他方の水柱の高さに大きく影響するからであらう。尙誤差の原因として恐れて居つた斷熱變化の問題は實際上影響ないと見てよい。何んとなれば空氣が斷熱變化をすると、前の計算にもあつた様に -1%内外の誤差を誘發する筈であるのに本實驗の結果は平均 -0.4%の誤算を與へたからである。

前述せる所に依れば、今の場合求め得べき正確度は溫度一定とすれば、0.2%である。然し此實驗に於ては室溫が 1 時間に 0.5°C 内外の上昇を示して居るのである。従つて 0.4%程度の誤差を生ずるのは當然と考へられる。そこで果して之が溫度に依つたものであるかどうかを次に檢べて見る。

C. 容積の測定をなすべきフラスコも水中に浸した場合の測定結果

測定時間中の溫度の變化及び測定すべき容積と既知容積との溫度差を成る可く少くする爲にフラスコも室溫の水に浸して測定を試みたが其の結果は第 3 表に示す如くである。

第 3 表

測定 番 號	水頭の實測値		H_1 を讀 み取りて より H_2 を讀み取 るまでに 要した時 間	$H_1 - H_2$	$V_2' + V_{20}^{(1)}$ + V_{21} = $V_1 \times$ $\frac{H_1 + H_2}{H_2}$	V_2'	$V_2' - V_2$ = ΔV	$\frac{\Delta V}{V_2} \times 100$	摘 要
	H_1	H_2							
1	28.43 ^{cm}	8.85 ^{cm}	40 ^{sec.}	19.58 ^{cm}	548.9 ^{c.c.}	548.2 ^{c.c.}	-1.2 ^{c.c.}	-0.22%	$V_1 = 248.1$ c.c.
2	31.84	9.93	45	21.91	547.4	546.7	-2.7	-0.49	$V_2 = 549.4$ c.c.
3	33.87	10.56	45	23.31	547.7	547.0	-2.4	-0.44	$V_{20} = 0.1$ c.c.
4	32.08	9.95	50	22.13	551.8	551.1	+1.7	+0.31	$V_{21} = 0.6$ c.c. (測
5	28.48	8.87	40	19.61	548.5	547.8	-1.6	-0.29	定容器と装置と
6	31.30	9.79	40	21.51	545.1	544.4	-5.0	-0.91	を連結せる硝子
7	30.21	9.35	45	20.86	553.5	552.8	+3.4	+0.62	管の容積)
8	32.08	9.95	40	22.13	551.8	551.1	+1.7	+0.31	室溫の上昇割合
9	32.38	10.05	50	22.33	551.3	550.6	+1.2	+0.22	= 0.5~0.6 °C/時
10	31.60	9.85	45	21.75	547.8	547.1	-2.3	-0.42	
					平均值	548.7	-0.7	-0.13	

之に依れば誤差は前の場合よりも遙に小となつて居り、正確度は水柱の讀みの正確度 $\frac{\delta H}{H_2}$ と同じ程度で與へられて居るのを知る。従つて前記の 0.4%の誤差は明に溫度の影響である

(1) 此の場合に於てはフラスコに浸す爲に之を本装置に連絡する管が長くなり V_{21} を加へる必要がある。

ことが分る。

之を要するに、上記の程度の測定に於ては、測定結果の正確度は第一表の値によつて大した誤なく與へられることを知る。

(iii) 實際への應用實驗

此測定法を實際に應用した一例として、500 c.c. オートバイ用ガソリン機關の隙間容積測定の結果を報告する。此機關は氣化器の研究の際長期間に涉つて使用し、過つてライナに相當の假を生じたものである。従つて此儘では非常に空氣漏洩の多いものである。然し此漏洩はグリースを薄くシリングと弁座とに塗つて 20 cm の水柱壓力で殆んど完全に防止することが出來た。而して此場合の測定結果は第 4 表に示す如くである。

第 4 表

測定 番 號	水頭の實測値		H_1 を読み取 りてより H_2 を読み取る迄 に要した時間	$H_1 - H_2$	$V_2 + V_{f_0} +$ $V_{21} = V_1$ $\times \frac{H_1 - H_2}{H_2}$	V_2	摘 要
	H_1	H_2					
1	26.63 ^{cm}	11.02 ^{cm}	40 ^{sec.}	15.61 ^{cm}	150.7 ^{c.c.}	150.0 ^{c.c.}	$V_1 = 106.4$ c.c. $V_{20} = 0.1$ c.c. $V_{21} = 0.6$ c.c.
2	26.47	10.89	45	15.58	152.2	151.5	
3	27.20	11.19	40	16.01	152.2	151.5	
4	28.50	11.79	40	16.71	150.8	150.1	
5	26.34	10.84	45	15.50	152.1	151.4	
					平均 値	150.9 \div 151	

尙この容積を輕油竝に水を以つて測定した結果は第 5 表に示す如くである。而してこの測定はビューレットを使用しシリングヘッドの最高位に設けられたガソリンコック孔より油又は水を注入してその流入量を測定したものである。

第 5 表

測定に使用 せる液體	測定番號	流 入 量 A	ガソリンコック 挿入部の容積 B	隙 間 容 積 A-B
油	1	152.73 ^{c.c.}	1.20 ^{c.c.}	151.53 ^{c.c.}
	2	152.50	1.20	151.30
	3	152.31	1.20	151.11
			平均 値	151.31 \div 151
水	1	151.90	1.20	150.70
	2	151.85	1.20	150.65
	3	151.50	1.20	150.30
			平均 値	150.55 \div 151

即ち此結果に依れば空氣によつた場合も油又は夫によつた場合も測定誤差の生ずる桁を四捨五入すれば全く同じ値を得る。

8. 結 論

本測定法は其原理があまりに良く知れわたつて居るので、始めは著者も其實用價値を疑つて居たのである。然し上述の如く周圍の條件と測定結果の正確度との關係を理論的に調べて見、更に試作實驗して見るに及んで本方法は適當なる設計と取扱とによつて十分に實用に供し得るものであることを認め得た。而して此方法の特徴とする點は測定が容易であること、而も測定の正確度が割合高く出来ること、空隙容積の形狀の如何に拘らず測定が出来ること、竝に低い正確度を許容するならば構造が簡單であるから手製でも出来ること等である。