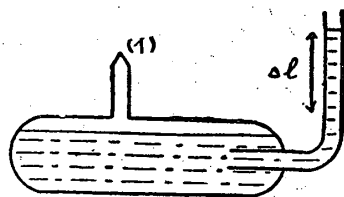


となり油の單位體積あたりに含まれる空氣の量は  $\pi r^2 \Delta l / V$  となる。

魚臭のある機械油について實驗を

試み少くとも油は 1/6 の體積だけの空氣（一氣壓のもとで）を含む事を確かめた。



第 5 圖

§ 8. 電離真空計で測定した到達真空度

今までは専らマクラウド真空計で測定した壓力で従つてその到達真空度も空氣の分壓についての事であつた。我々は次に空氣で補正した電離真空計を用いて、到達真空度を測定した。ポンプは試作 PN-100 を用いた結果を第 4 表にかかげる。

第 4 表 電離真空計による到達真空度

油	M. G. による $p_0$ (mmHg)	電離真空計による $(p_0 \text{ mmHg})$
モビール油	$1 \sim 2 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-2}$
ポンプ油 A	$1 \sim 2 \times 10^{-3}$	$1.9 \times 10^{-2}$
魚臭のある機械油	$4.5 \times 10^{-3}$	$3.7 \times 10^{-2}$

電離真空計で得た  $p_0$  はマクラウド真空計で得た  $p_0$  の十倍程度となつている。電離真空計で得た  $p_0$  は空氣の壓力よりもむしろ、主として油に含まれている蒸發し易い凝縮性の蒸氣の壓力らしく思われる。

但し電離真空計は空氣で補正してあるためこの種の蒸氣については直接壓力を表わしては蒸氣の衝突斷面積、電離電壓から考えて、眞の壓力はこれより低いと思われる。

§ 9. 結 論

第一に空氣の分壓による到達真空度を考えるにこれはポンプ自體から出す空氣によつて定まり、この空氣は低壓側の入り弁と壁とのすき間を通つて低壓側に流れ込むポンプ油が含むものと思われる。

油の粘性は溫度と共に急激に變化するので、(約 10 °C 上昇すると粘性係数は半分になる)溫度の上昇すると共に低壓側に流れ込む油量も急激に増し、したがつて到達真空度は、溫度上昇と共に悪くなると考えられる。

次に  $p_0$  が低壓側に流れ込む油量に比例しないのはポンプの一回轉する間 (1/6 秒) に充分空氣を出しきらないまま、中間壓側に排除されてしまうと考えると説明出来る。

第二に油の蒸氣も含めた到達真空度に関しては油に含まれている蒸氣壓の高い成分によるか又は、ポンプの回轉中に油が分解するためかいずれかであろうと思われる。

最後にこの實驗について種々御教示を賜つた熊谷寛夫先生、並びに種々實驗の手傳いをして下さつた西川正巳君に對して厚く御禮申上げる。

回轉真空ポンプの排氣速度について

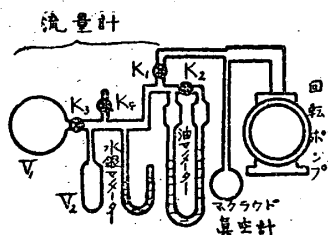
柴田英夫・山田和郎・岩永賢三

(1948 年 1 月 15 日受理)

§ 1. 序 言

排氣速度は到達真空度と共に回轉ポンプの性能を表わす最も重要なものの一つである。

實際に真空容器を排氣するにはポンプと容器とを連結する導管が必要である。従つて我々はこの様な真空系についてその排氣速度を研究した。



第 1 圖

§ 2. 實 驗 装 置

第 1 圖に實驗裝置の概略を示した。

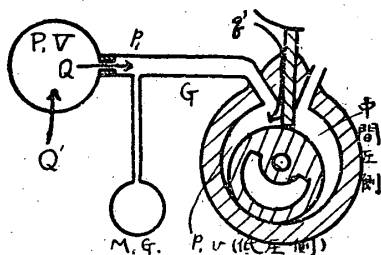
最初コック  $K_4$  をとじてコック  $K_1, K_2, K_3$  をあけて回轉ポンプを働かせ裝置全體を充分排氣し、次に  $K_1, K_2$  をとち  $K_4$  を少しあけて容器に空氣を流入してその壓力の適當な所で  $K_4$  をとじる。

次にコック  $K_1$  を少しあけてポンプ側へ少量の空氣を流してやる容器の壓力變化を測定するには水銀又は油マンメーターを用いる。ポンプ側への流量を加減するにはコック  $K_1$  の開閉の度合を以つてし流量が多くて容器の壓力變化の大きいときは  $K_3$  を開けたまま即

ち容器の體積を  $V_1+V_2=4650$  cc を用い逆の場合は  $K_3$  をとじて  $V_2=340$  cc を用い、更に壓力變化の多少に應じて、水銀又は油マンノメーターを用いる事にした。

Mc. Leod 眞空計は回轉ポンプの近くになるべく太い導管でポンプと連結されている。この場合も Mc. Leod 眞空計は空氣等の非凝縮性の氣體の分壓をのみ測定する事が出来、油の蒸氣等凝縮性の蒸氣は測定する事が出来ない。

§ 3. 實驗の基礎となる式



第 2 圖

第2圖は第1圖を更に簡單化したものである。ここに  $p_1$  は Mc. Leod 眞空計の壓力  $p$ ,  $v$ ,  $P$ ,  $V$  は夫々回轉ポンプの低壓側及び容器の壓力と體積を表わし  $G$  は Mc. Leod 眞空計とポンプを連結する導管のコンダクタンスとする。

更に容器についてはポンプが一回轉する間に  $Q'$  なる漏りがあるものとする。ポンプの低壓側への漏りについては中間壓側からの空氣の逆流はないので専ら入り瓣と壁とのすき間を通つて入つて來た油が含んでいる空氣によるものと考えられる。ポンプが一回轉する間のこの漏りの量を  $q'$  とする。  $Q'$ ,  $q'$  は體積のみで表わさず體積と壓力の積で表わした。即ち一定の重さの氣體を體積のみで表わすとこの量は壓力によつて異なるが壓力と體積の積とすれば溫度があまり違わなければ常に一定と考えてよいからである。更に  $Q'$  は外氣の壓力と容器の壓力  $P$  とによつて定まるが大氣壓は  $P$  よりはるかに高いと考えられるから  $P$  によらないで時間的に一定とみなされる。同様に  $q'$  もポンプの低壓側の壓力  $p$  によらず一定と考えられる。

今第3圖の様に  $v=0$  から  $v=v_{max}$  を經てポンプが一回轉する時間を  $\tau$  とし、この間に容器の壓力が  $\Delta P$  だけ減つたとする。この  $\tau$  時間に細隙を通じて容器からポンプ側へ流入した空氣の量  $Q$  は

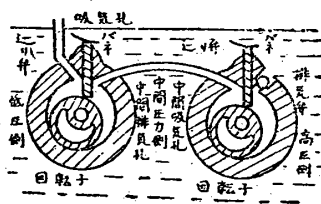
$$Q = Q' + V\Delta P$$

となる。

第3圖で  $v=v_{max}$  となつたときのポンプ側の壓力

$p$  を  $p_r$  で表わすと  $p_r v_{max}$  の量の氣體は一回轉後には完全に中間壓側に排除される(1)。

よつて



第 3 圖

$$Q' + q' + V\Delta P = p_r v_{max} \quad (1)$$

左邊は一回轉中にポンプの低壓側に流入した氣體の量、右邊は一回轉中にポンプが吸収し中間壓側に排除する氣體の量を表わしている。この場合導管中にある空氣の變化量は體積と壓力の積で前記(1)式の諸量に比べて小さいので無視した。

次に第2圖に於いて Mc. Leod 眞空計とポンプとを連結する導管について考えて見る。若し導管の兩端の壓力  $p_1$ ,  $p$  に時間的變化がなく定常状態が成立つている場合は、導管を流れる空氣の量は一定となり、コンダクタンス  $G$  の定義により單位時間に導管を流れる氣體の量は  $G(p_1-p)$  となるが回轉ポンプの場合は一回轉中  $dv/dt$  が一定でなく瞬間的には導管中の氣體も相當量脈動すると考えられるので導管を流れる空氣の量は場所により異なる。しかし一回轉には前述した様に導管中の氣體の變化量は小さいから之を無視すると

$$Q' + V\Delta P = \overline{G(p_1-p)}\tau \quad (2)$$

左邊は一回轉中に導管を通つてポンプに流入した氣體の量、右邊は一回轉  $\tau$  時間中の  $G(p_1-p)$  の平均値である。

$$\text{Knudsen}^{(2)} \text{ によれば } G = \frac{G_1(p_1+p)}{2} + G_0$$

ここに  $G_1$ ,  $G_0$  は導管の寸法によつて定まり、壓力には無關係な量である。

次に一回轉中のポンプ側の壓力  $p$  の變化は各瞬間毎の  $q'$  の値が分らないため正確には表わされないがポンプに連結されている導管中の氣體の移動により、 $p$  の急激な變化は考えられず、従つて第3圖で  $v=v_{max}$  より  $v=0$  にポンプが回轉してもこの兩者の壓力を等しいとおいて差支えない様に思われる。この様に假定すると、實際ありうるであろう  $q'$  の變化に對して

$$p\tau = \bar{p} \quad \text{となる。}$$

従つて(1)(2)式より

$$Q' + V\Delta P = \bar{p} v_{max} - q' = \overline{G(p_1-p)}\tau \quad (3)$$

ここで更に  $\overline{G(p_1-p)} = \bar{G}(\bar{p}_1 - \bar{p})$ ,  $v_{max}/\tau = S_0$  とおく。  $\bar{G}$  は  $p_1$ ,  $p$  の脈動が少なければ  $\bar{G} \doteq G$  となる。又  $S_0$  は  $q'=0$  の理想的ポンプの排氣速度を表わすものであるが通常この  $S_0$  を回轉ポンプの排氣速

度と呼んでいる。よつて (3) 式は

$$Q' + V\Delta P = \bar{p} S_0 \tau - q' = \bar{G} (\bar{p}_1 - \bar{p}) \tau \quad (4)$$

次に排氣が進むにつれて壓力  $p_1, p$  が低くなり容器の壓力變化  $\Delta P$  が 0 となつたときの  $p_1, p$  の値を夫々  $p_{10}, p_0$  とすればこのときは

$G_1(p_{10} + p_0)/2 \ll G_0$  となり  $\bar{G} = G_0$  となつて壓力によらず一定となる。従つて

$$Q' = \bar{p}_0 S_0 \tau - q' = G (\bar{p}_{10} - \bar{p}_0) \tau \quad (5)$$

而るに第2圖の様な真空系でポンプから Mc. Leod 真空計まで導管をも含めて一箇のポンプと考え、この壓力が  $\Delta t$  時間中に  $\Delta p$  だけ變化するならばその排氣速度  $S$  は

$S = V\Delta p / (p_1 - p_{10}) \Delta t$  で一般に定義される。よつて上に得た (3), (4), (5) 式を用いてこの排氣速度を書きかえて見る。このとき壓力  $p_1, p$  の高低によつて二つの場合を考える。

第一に  $\bar{p} \gg \bar{p}_0, \bar{p}_1 \gg \bar{p}_{10}$  のときは

$$\bar{p} S_0 \tau \gg \bar{p}_0 S_0 \tau = Q' + q'$$

従つて (4) 式より

$$\begin{aligned} V\Delta P &= \bar{p} S_0 \tau = \bar{G} (\bar{p}_1 - \bar{p}) \tau \\ S &= V\Delta P / (\bar{p}_1 - \bar{p}_{10}) \tau \doteq V\Delta P / \bar{p}_1 \tau \\ &= \bar{G} S_0 / (\bar{G} + S_0) \end{aligned} \quad (6)$$

となり壓力が高いときには  $\bar{G}$  は大きいので  $S \doteq S_0$  となる。

第二に壓力  $p_1, p$  が低く  $G = G_0$  が成立する範囲では (4) 式は

$$Q' + V\Delta P = \bar{p} S_0 \tau - q' = G_0 (\bar{p}_1 - \bar{p}) \tau \quad (7)$$

(7) - (5) により

$$\begin{aligned} V\Delta P &= (\bar{p} - \bar{p}_0) S_0 \tau = G_0 \{ (\bar{p}_1 - \bar{p}_{10}) \\ &\quad - (\bar{p} - \bar{p}_0) \} \tau \end{aligned} \quad (8)$$

(8) 式の後半より

$$(\bar{p} - \bar{p}_0) / (\bar{p}_1 - \bar{p}_{10}) = G_0 / (S_0 + G_0)$$

従つて (8) 式の前半より

$$S = V\Delta P / (\bar{p}_1 - \bar{p}_{10}) \tau = S_0 G_0 / (S_0 + G_0) \quad (9)$$

#### § 4. 實驗の結果 (1)

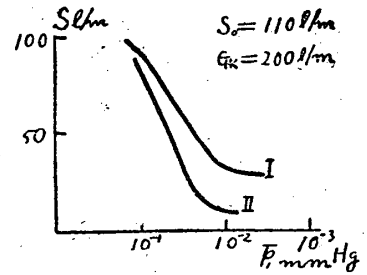
第1圖の實驗装置を用い  $\Delta t$  時間中の容器の壓力變化を  $\Delta P$ ,  $\Delta t$  時間中の Mc. Leod 真空計の讀みの平均値を  $\bar{p}_1$  とすると

$$S = V\Delta P / (p_1 - p_{10}) \Delta t \quad \text{となる。}$$

但し  $\Delta t \gg \tau$  とする。

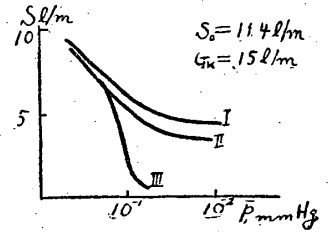
$V$  を litre,  $\Delta t$  を minute で表わすと  $S$  は litre/minute で表わされる。

第4圖は  $S_0 = 110 \text{ l/m}$  のポンプを  $G_K = 200 \text{ l/m}$  の導管を用いて  $S$  を測定したもので  $S$  を  $y$  軸に  $\bar{p}_1$



第4圖

を  $x$  軸にとつてある。但し  $G_K$  は Knudsen の式によつてコンダクタンスを計算したもので壓力によらない前記  $G_0$  の値に相當するものである。Iの曲線はポンプに用いる油としてポンプ油  $L$

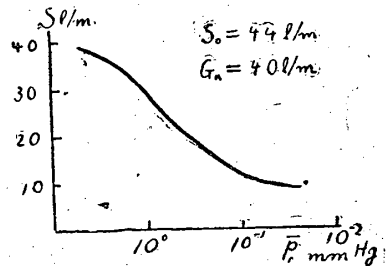


第5圖

又はモビール油を使用し、IIの曲線は魚臭のある機械油を用いたもので油の溫度は  $40^\circ\text{C}$  前後である。

第5圖はセンコハイバックポンプを用い曲線 I はセンコハイバックオイル、II は魚臭のある機械油、III は變壓器油を使用したもので油の溫度は  $30^\circ\text{C}$  内外である。

第6圖は大亞メガバックポンプを用いて、魚臭のある機械油を使用したもので油の溫度は  $35^\circ\text{C}$  前後である。上述の  $S - \bar{p}_1$



第6圖

曲線はいずれも  $\bar{p}_1$  が  $\bar{p}_{10}$  の五倍から十倍の所より  $S$  は既に一定となるので前節の終りにあげた二つの場合 (6) (9) 式は  $\bar{p}_1$  の如何に関わらず成立する。換言すれば  $S$  は  $S = S_0 \bar{G} / (S_0 + \bar{G})$  によつて表わされ、壓力  $\bar{p}_1$  が低くなれば  $\bar{G}$  は一定と考えられる。ここで  $G$  が Knudsen の式に従うとすれば同じポンプ同じ導管を用いば油の種類如何に関わらず  $S$  は一致した値をとるべきであるが、測定の結果は之に反する。更に  $\bar{p}_1$  が低く  $S$  が一定値をとる場合 (9) 式により  $S_0$  と  $S$  より  $G_0$  を出す。各圖について  $G_0$  が一番大きな値をとる場合として

第4圖 I の場合  $G_0 = 50 \text{ l/m}$ ,  $G_K = 200 \text{ l/m}$ 。

第5圖 I の場合  $G_0 = 6 \text{ l/m}$ ,  $G_K = 15 \text{ l/m}$ 。

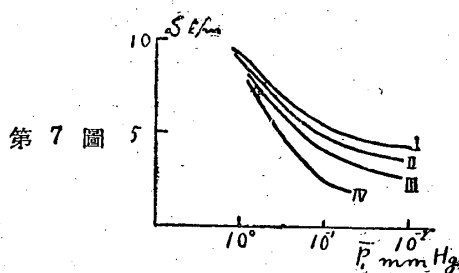
第6圖の場合  $G_0 = 10 \text{ l/m}$ ,  $G_K = 40 \text{ l/m}$ 。

以上三つの場合のいずれの  $G_0$  も Knudsen の式から計算した  $G_K$  より小さく、従つて導管の抵抗は

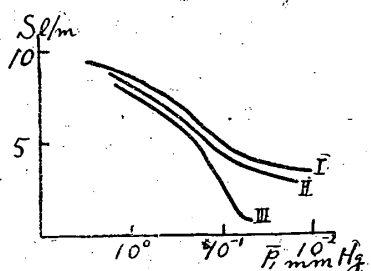
Knudsen の理論値より大きくなっている。

§ 5. 實驗結果 (2)

我々は更に同一の油を用い、その温度を變えて  $S-P_1$  曲線を求めた。



第7圖



第8圖

ポンプはセンコハイバツクポンプを用い、第7圖はセンコハイバツクポンプ油、第8圖は魚臭のある機械油を使用した。

第7圖に於て油の温度夫々 30°C ~ 32°C, 45°C ± 2°C, 60°C, 80°C ± 3°C に應じて曲線 I, II, III, IV を得た。

第8圖に於ては油の温度 30°C, 50°C, 80°C に應じて夫々 I, II, III, の曲線を得た。

この實驗によれば油の温度が高くなるにつれて  $S$  は小さく、従つて (9) 式より導管の抵抗は増して行く但し前述の油の温度はすべてポンプの外部の油の温度でポンプの内部は更に高いと思われる。

§ 6. 結論

前記實驗結果を説明するために我々は次の様に考える。即ち回轉ポンプの内部は温度が高く従つて油によつては相當の蒸氣壓を示し、これが導管に充満して更にこの蒸氣は温度の低い導管の上部に噴出してそこで液化していると考えられる。このため容器から流入してくる氣體はこの蒸氣分子と衝突して導管の抵抗が増すのである。この様に考えれば油の蒸氣壓はその種類により、又その温度により異なるため、従つて導管のコンダクタンスも亦 Knudsen の計算した値と異なる筈である。

我々は目下油蒸氣中の空氣分子の擴散現象を實驗しているが、以上の結論は量的にも相當正しい事が分つた。

最後にこの實驗について種々御教示を賜つた熊谷寛夫先生並びに實驗の手傳いをして下さつた西川正巳君に對して厚く御禮申上げる。

文獻

- (1) 山田, 柴田, 岩永, 理工學研空所報告, 回轉真空ポンプの到達真空度について
- (2) Knudsen, Ann. d. Phys. 28 (1909) 75.
- (3) Dunoyer, Vacuum Practice.

真空導管中に於いてポンプ油蒸氣の示す抵抗について

岩永賢三・山田和郎

(1948年1月15日受理)

1. 序言

前報告『廻轉真空ポンプの排氣速度について』に於いて述べられた様に第1圖に示すポンプと Mc.Leod Gauge とを結ぶ導管を單位時間に流れる空氣の體積  $S$  は到達真空度附近の壓力に於いては

$$S = S_0 G_0 / (S_0 + G_0) \quad (1)$$

となる。此處に  $S_0$  はポンプの理想的排氣速度 110 l/min であり、 $G_0$  は導管の conductance である。今  $G_0$  に Knudsen の式より計算された純粹に導管だけ

の conductance  $G_K = 200$  l/min を代入すれば

$$S = 110 \times 200 / (110 + 200) = 71$$

即ち 71 l/min となる。然るに  $S$  の實測値は廻轉ポンプ油  $L$  を使用した場合約 35 l/min に過ぎない。これは摩擦のためポンプ内部の油の温度が高くなる爲に油は相當の蒸氣壓を呈する様になり、これが吸氣孔の方へ擴散し、流入しようとする空氣分子と衝突してその運動を防げるからであると考えられる。之を確め