次にこれらの線図を一つにまとめたものが第9図である。同図から上述の、空気圧の増加につれてストロークの絶対値およびシリンダに対する相対位置が漸次変化することが容易にわかる。また得られた足袋型線図は大体蒸気機関のそれに似ており、圧縮行程やカットオフ等も明瞭に知ることができる。これら線図を利用した、さく岩機性能の詳細な解析は別の機会に譲りたい。

4. 結 言

以上本インジケータの概要につき述べたが、その特徴とする点を繰り返せば次の通りである。

- a) ストロークを直接さく岩機後方から引き出し、直ちに縮小することにより、簡単にストローク変位を得ると共に、慣性力の悪影響を十分軽減することができる。
- b) 前室および後室の圧力変動を同時にしかも同一フィルムに記録することができる。
- c) 両室と受圧部との間の連結管がないゆえ、その悪影響を完全に除去することができる。
- d) 受圧系統の固有振動数は十分高くとることができる。
- e) ストローク変位と圧力変動によるペンレバーの運動を垂直に組み合わせることにより直接、圧力-行程線図を得ることができる。
- f) ドラムに巻いた1枚のフィルム (17×220mm)

に連続して前後室合計約 40 個の線図が記録できる。

g) 線図はそのまま現場で明瞭に直視できる程度の大きさをもっており、他方必要に応じてフィルムを引伸し機にかけることもできる。

h) 受圧および記録系統を保護し、かつ記録線条の重畳を防ぐために作動カムが備えてある。

i) 圧力検定線は同一フィルムにたやすく記入することができる。

以上従来のさく岩機用インジケータと比較して上記のごとき特徴をもったマイクロ型インジケータを新に設計試作し、しかもかなり満足すべき結果が得られたので報告した次第である。

最後に本インジケータの試作に当つては、古河鋳業足尾製作所の各位に負う所極めて多く、なかんずく技術課の多田太郎、恩田武、三上芳一、川田富千代、亀山喜之次郎の諸氏には製作および実験に際し多大の助力を得たことを特に感謝する。

注：一

- (1) 昭和 24 年 4 月 5 日 第 26 期定期総会講演会において講演、原稿受付 昭和 24 年 6 月 28 日。
- (2), (3) 正員、桐生工業専門学校。
- (4) 正員、古河鋳業足尾製作所。
- (5) 小阪、朝鮮鋳業会誌 24 巻 3 号, 149 頁, (昭16-3)。
- (6) 小田川、三雲、日本鋳業会誌, 55 巻, 548 号, 211 頁(昭14-4)。
- (7) 最初は圖に示すような両端固定の板ばねを用いたが圧力変位の静的検定の結果片持ちの方がより直線的関係が得られたのでこれに変更した。
- (8) 第7図はフィルムをそのまま拡大したもの、第8図は別の実験結果につき前後室の両線図を配列し直したものである。

寄 書

液体蒸発による遠心送風機圧力比変化の計算法⁽¹⁾

渡 部 一 郎⁽²⁾

Calculation Method for Pressure Ratio Variations of a Centrifugal Blower due to the Evaporation of Liquid

by Itirō WATANABE

1. 緒 言

遠心送風機の吸入側に液体を噴射してやると、液体の蒸発によつて圧力比が変化することが知られている。G.V. Brooke は、遠心過給機で空気だけを流している場合と、ガソリンと空気の混合気を流している場合の実験を行い、空気だけを流しているときの圧力比から、混合気を流しているときの圧力比を誘導する計算法を提案している⁽³⁾。これはガソリンの場合であるが、遠心送風機には水その他の液体を噴射してやる

場合が多いから、この計算法について考えてみた。

Brooke の計算法では、遠心送風機の吸入圧力を p_1 、吐出し圧力を p_2 、吸入絶対温度を T_1 、断熱温度効率を η_t 、回転数を n 、空気流量(質量)を G 、吸入密度を ρ_1 として、 n と G/ρ_1 が一定のときは、遠心送風機の圧送に要する仕事量が一定、すなわち

$$(c_p T_1 / \eta_t) \{ (p_2 / p_1)^{k-1/k} - 1 \} = \text{一定}$$

と仮定している。さらに Brooke は η_t も一定と仮定し、結局

$$c_p T_1 \{ (p_2 / p_1)^{k-1/k} - 1 \}$$

$$=c_p' T_1' \left\{ \left(\frac{p_2'}{p_1'} \right)^{\frac{k'-1}{k'}} - 1 \right\} \dots\dots\dots(1)$$

と言う式を使つて、空気だけのときの圧力比 p_2/p_1 から、混合気を流しているときの圧力比 p_2'/p_1' を求める方法を提案している。ここにダッシュを付けたものは混合気の場合の諸量である。

以上の Brooke の計算方法でも、もちろん誤りではないけれども、上の仮定はすこし大胆とも考えられるし、遠心送風機の次元解析を用いると、上のような仮定をしないで進めるので、ここに新しい計算方法を考えてみたわけである。Brooke のやつた実験結果を使つて、Brooke の計算方法と新計算方法とをくらべてみるとほとんど同じであるが、正確には新計算方法の方が多少低目の値を与えることになる。したがつてガソリンの場合に対しては Brooke の計算方法の方がよく合うとも言えるのであるが、ガソリン以外の液体に対してはどうなるかわからない。ガソリンの場合に対してもほとんど同程度に合うと言えるから考え方として無理のない新計算方法を使う方がよいと思う。

2. 空気だけのときの圧力比から混合気のときの圧力比を誘導する新計算方法

遠心送風機の空気流量（質量）を G 、吸入圧力を p_1 、吸入絶対温度を T_1 、駆動馬力（軸受損失、歯車損失などをふくまないもの）を P 、回転数を n 、翼車の直径のようなある標準寸法を D 、断熱温度効率を η_t とすると、送風機の次元関係⁽⁴⁾ から次の関係が知られている。

$$\frac{P}{G n^2 D^2}, \eta_t = f \left(\frac{G \sqrt{T_1}}{D^2 p_1}, \frac{n D}{\sqrt{T_1}} \right) \dots\dots\dots(2)$$

送風機が決まつていると、 D は一定であるから、

$$\frac{P}{G n^2}, \eta_t = f \left(\frac{G \sqrt{T_1}}{p_1}, \frac{n}{\sqrt{T_1}} \right) \dots\dots\dots(2,1)$$

一方、遠心送風機の圧送の仕事量 P は

$$P = \frac{G g \cdot c_p T_1}{A \eta_t} \left\{ \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right\} \dots\dots\dots(3)$$

で与えられるから、(2,1) を用いると、

$$\begin{aligned} \frac{P}{G n^2} &= \frac{g c_p T_1}{A n^2 \eta_t} \left\{ \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right\} \\ &= f \left(\frac{G \sqrt{T_1}}{p_1}, \frac{n}{\sqrt{T_1}} \right) \end{aligned}$$

さらに、(2,1) を用いると、

$$\frac{g c_p T_1}{A n^2} \left\{ \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right\} = \phi \left(\frac{G \sqrt{T_1}}{p_1}, \frac{n}{\sqrt{T_1}} \right) \dots\dots\dots(4)$$

となる。したがつて、 $G \sqrt{T_1}/p_1$, $n/\sqrt{T_1}$ が同じなれば、(4) の左辺は一定となるから、液体蒸気との混合気の場合の諸量をダッシュを付けて表わすと

$$c_p \left\{ \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right\} = c_p' \left\{ \left(\frac{p_2'}{p_1'} \right)^{\frac{k'-1}{k'}} - 1 \right\} \dots\dots\dots(5)$$

(5) で混合気のときの圧力比 p_2'/p_1' が計算できるわけであるがこの圧力比は回転数 $n' = n(\sqrt{T_1'}/\sqrt{T_1})$ に対応している。Brooke の実験結果は n を一定としてあるので、これと比較するためには、圧力上昇 $\Delta p \propto n^2$ の関係で修正してやる必要がある。すなわち(5) で求めた p_2'/p_1' に

$$\left(\frac{p_2'}{p_1'} - 1 \right) \times \left(\frac{n}{n'} \right)^2 = \left(\frac{p_2'}{p_1'} - 1 \right) \times \frac{T_1}{T_1'} \dots\dots\dots(6)$$

の換算をしてやればよい。

すなわち圧力比の変化の計算には、(1) のかわりに(5) と (6) を用いる方が合理的と考えられる。

3. Brooke のガソリンによる実験結果との比較

Brooke は前述したように、遠心過給機を使つて空気だけを流した場合と、混合気を流した場合の実験を行い、 n を一定として、 $G/n\rho_1$ と圧力比との関係を線図に示している⁽⁵⁾。ここで ρ_1 は吸入質量密度である。混合比は $13/1$ であつて、Brooke は燃料の蒸気密度は同温同圧の空気密度の 3.3 倍であるとし、圧力と温度が一定のときの混合気密度と空気密度の比を $\{1+(1/13)\}/\{1+(1/13)(1/3.3)\}=1.05$ とし、さらに燃料が完全に蒸発するとして温度降下を 23°C として、結局混合気が流れている場合の空気についての $G/n\rho_1$ は空気だけの場合の $G/n\rho_1$ の 1.047 倍になることを計算で求めている⁽⁶⁾。そして(1) で求めた圧力比 (p_2'/p_1') に対応する $G/n\rho_1$ を、空気だけのときの圧力比 p_2/p_1 に対応する $G/n\rho_1$ の 1.047 倍にとつて、実験結果と比較している。さらに Brooke の実験では、 $T_1=333^\circ\text{K}$ であり、燃料はヘプタン 80%、ベンゾール 20%、(体積比)としてヘプタンの $c_p=0.47$, $c_v=0.43$, ベンゾールの $c_p=0.3$, $c_v=0.27$ として計算している。空気の $c_p=0.2405$, $c_v=0.172$, $k=1.4$ として、混合気の場合を計算して見ると、 $c_p'=0.254$, $c_v'=0.188$, $k'=1.35$ となり、さらに完全気化による温度降下は 23°C であるから、 $T_1'=333-23=310^\circ\text{K}$ となる。

これらのデータをそのままつかつて、(1) のかわりに(5), (6) で混合気のときの圧力比を計算し、 $G/n\rho_1$ は Brooke と同じように、空気だけの場合の 1.047 倍してやると、計算結果が第 1 図に示してあるようになる。

図からわかるように、新計算法による結果は Brooke

第 1 図

の計算法による結果と非常に近接している。正確には Brooke の結果よりも幾分低目の値を与えるわけであつて、とくに圧力比が高いときにこの傾向がややはっきり表われている。実験結果に対しては、Brooke の計算法の方が近いわけであるが、この程度ならばまづ同程度と見なしてさしつかえないと思う。考え方としては、(5)、(6) を用いる方が合理的であると考え

る。Brooke の計算に使つた燃料の気化潜熱その他の値はこの計算でもそのまま使つたわけであるが、この値がどの程度に正しいかと言うことも疑問である。また、ガソリン以外の液体を使つた場合を考えると、Brooke の計算法と新計算法の結果に相当の開きが出て、新計算法の方が実験結果とよく合うと言うことが無いとは言えないと思う。これらの点については、水噴射などの実験によつてさらに研究を進めてみるつもりであるが、ここでは理論的に根拠が強いと思われる新計算法を照会するのに止める。

この研究は文部省科学研究費によつたことを附言する。

注：一

- (1) 昭和 25 年 4 月 7 日総会講演会において講演，原稿受付 昭和 25 年 7 月 12 日。
- (2) 正員，慶応義塾大学工学部。
- (3) G.V. Brooke; Effect of Fuel Evaporation on Performance of a Centrifugal Supercharger; R. & M. No. 1574, 1933/11.
- (4) R.S. Capon, G.V. Brooke; The Application of Dimensional Relationships to Air Compressors, with Special Reference to the Variation of Performance with Inlet Conditions, R.&M. No.1336 または渡部：次元解析演習，昭和 24 年 10 月，135/140 頁。
- (5), (3) と同じ。
- (6) このことは，わかりやすく言うと，燃料なり液体なりが蒸発して吸入側に温度降下が起るために，混合気のときの方が空気自身も多く流れ G/n^2 が大きくなるということである。

ヴォルテックス・チューブに関する研究⁽¹⁾

大 野 孝⁽²⁾ 谷 口 修⁽³⁾

Research on the Vortex Tube

by Takashi OHNO and Osamu TANIGUCHI

Centrifugal field will be formed in the pipe by the spiral motion of air when the compressed air is injected through the nozzle installed tangentially on the pipe wall. If such process is carried out adiabatically, temperature gradient will be exist along the radial direction. Then temperature difference between the center and the periphery will be noticeable. Some devices will be able to sperate the injected compressed air into two parts, warm and cold. Such apparatus is called as vortex tube. We designed several constructions of vortex tube and investigated their characteristics experimentally and theoretically.

1. 緒 言

液体空気の需要にともない，その製法は低温工学の一分野として広く研究されてきた。ヴォルテックス・チューブも始めかかる面で注目されたことは疑う余地がない。すなわち在来の方法では往復機関あるいはタービンを使用し，断熱的に空気に仕事をさせる過程を持つが，低温における可動部分の処理に関して困難な問題のあらうことは容易に想像される。この間にあつ

て，可動部分をもたないヴォルテックス・チューブについて一般的に検討を加えてみるのもあながち無意味でもないと思う。

いま第 1 図のように円形断面の管内にその周方向に向けて，ノズルから圧縮空気を噴射させる場合を考える。ノズル出口で一たん膨脹した空気は高速で線運動によつて周辺部では圧縮され，中心部ではさらに膨脹し，それが断熱的に行われるならば中心部と周辺部では相当の温度差が得られよう。この際管の両端が開い