

# Jaguar Supercharger の性能實驗 (第一報)

柴 田 浩<sup>(1)</sup>  
大 空 金 次  
尾 上 伍 市

## 目 次

1. 緒 言.
2. Jaguar Supercharger の構造概略.
3. 實驗装置及び方法.
4. 實驗結果の整理及び其考案.
  - a. 廻轉數に對する性能
  - b. 吐出面積に對する性能
  - c. 空氣量に對する性能
  - d. 壓縮比に對する性能
5. 結 言.

## 1. 緒 言

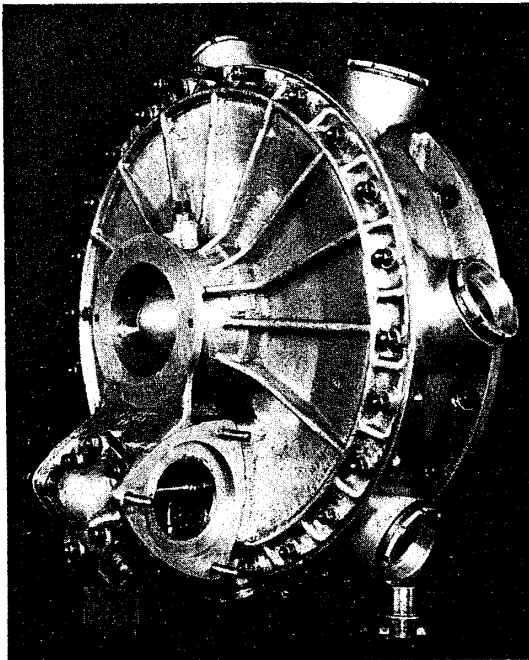
茲に報告する Jaguar Supercharger の性能試験は數年前行つたもので、其試験結果としては大して目新しいこともなく一般の遠心式送風器の性能とあまり異なる所がないが、航空用高速遠心式送風器の性能試験の一部として取敢えず報告する。此の第一報では性能試験結果及び之れに對する簡単な推察に止めて置く。

## 2. Jaguar Supercharger の構造概略

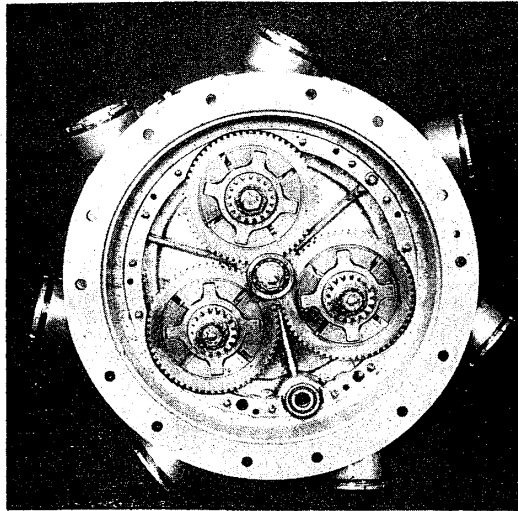
此の supercharger の外觀は第 1 圖に示す。第 2 圖は分解せし所を示したもので impeller, diffuser guide vane, 及び吸入口の guide vane 等を示して居る。第 3 圖は impeller の傳導装置を示したものである。此の supercharger は [Jaguar] 標準四型航空發動機(英國)用のもので、Aluminium 製の一個の吸入管室と其蓋板との間に装置せられた Duralumin 製の背板なき遠心型直線狀扇車にして一個の浮遊式齒輪、主傳導齒輪、三個の小型中間齒輪、及び三個の大型中間齒輪によつて指導せられて居る。

扇車は此等の齒輪を通じて發動機回轉數の 12.9 倍即ち標準 21930 回轉にて回轉せられ、而して三個の大型中間齒輪には遠心式 clutch を備へ發動機の緩速回轉に於て扇車に傳ふる力を可及的小ならしめ扇車の耐續性を keep せしめると同時に扇車軸に傳ふる力を均等ならし

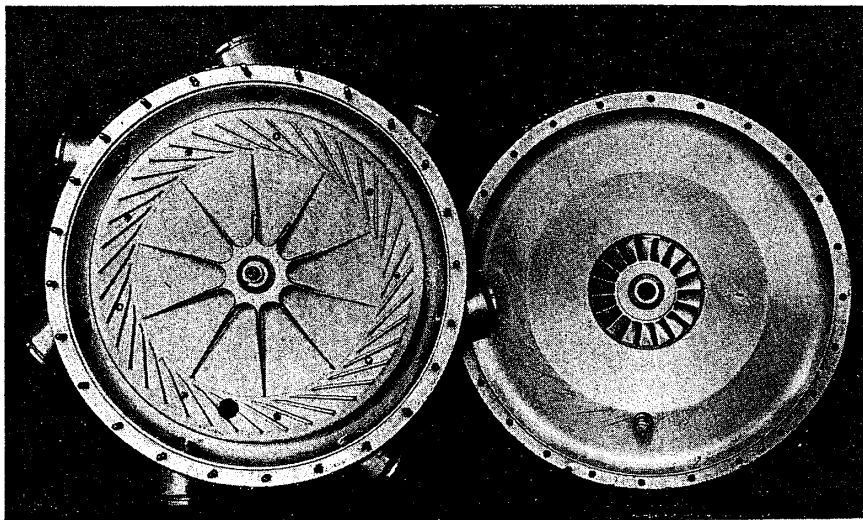
(1) 富塚實驗室勤務



第 1 圖



第 3 圖



第 2 圖

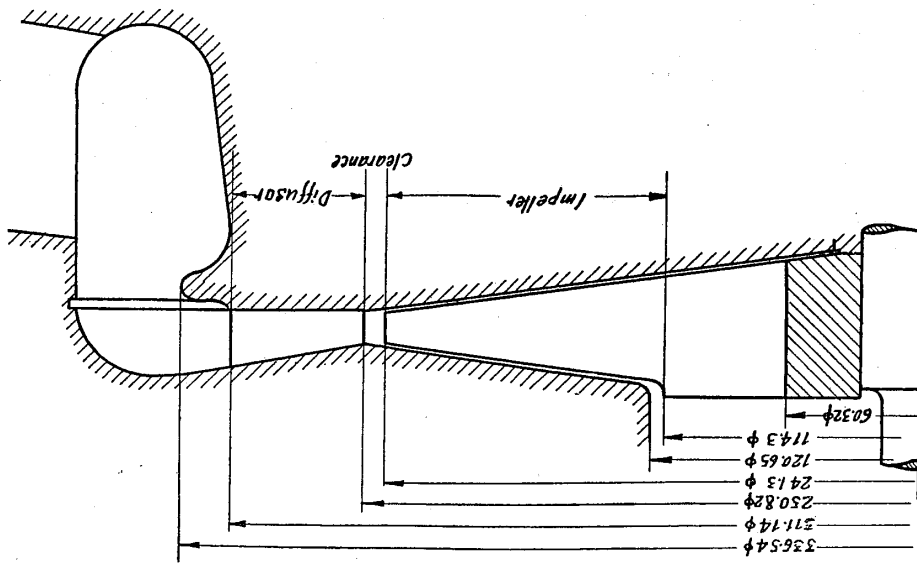
めて居る。氣化器を出た mixture gas は suction port より數個の導翼を通じて impeller の中央に入る様になつて居る。

次に大體の寸法を示す。

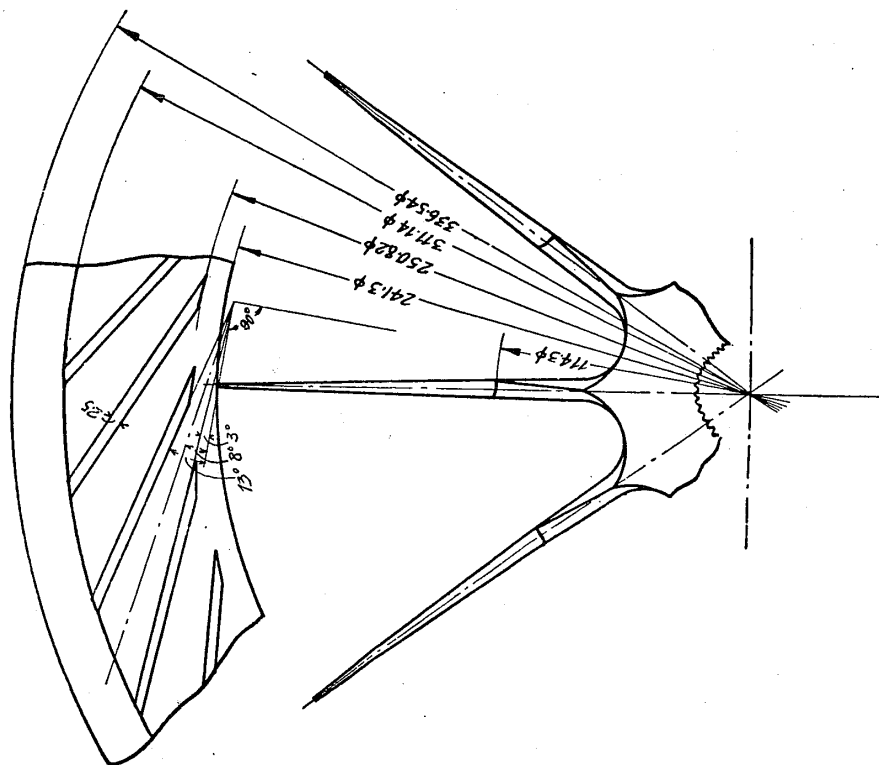
No. of guide vane (suction port)=18

No. of impeller=10

Outer diameter of impeller=241.3 mm



第 4 圖

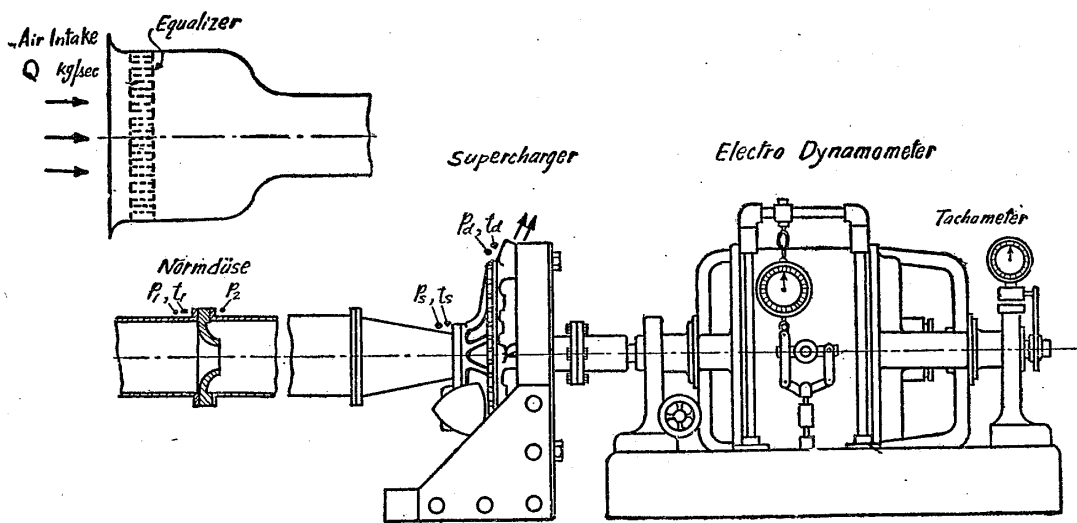


第 5 圖

- Inner diameter of impeller=114.3 mm
  - No. of diffuser guide vane=39
  - Outer diameter of diffuser guide vane=311.14 mm
  - Inner " " " " 250.82 mm
- 第4圖, 第5圖に其詳細を圖示した.

### 3. 実験装置及び方法

実験装置の骨組圖は第6圖に示した. 普通送風器の試験装置の簡單なものに過ぎない. 使用したelectro-dynamometer は 30 HP のもので廻轉數は 1200~2000~4000 の範圍のものである. 吸入空氣量は supercharger の吸入口の先に附けた suction pipe の途中に置いた Normdüse によつて測定した. 使用した Normdüse は 1912 年型のもので眞鑄製であり, 其内徑は 72 mm, suction pipe の dia. は 180 mm で Normdüse の内徑面積と suction pipe の斷面積との比は 0.16 になつて居る. 吸入空氣量は最高 0.5kg/sec であるので suction pipe 中の空氣速度は大約 17 m/sec 位であつた. supercharger の吐出口を加減するには supercharger の七個の吐出口を用ひた. 吐出口の一個の面積は約 18 cm<sup>2</sup> であつたので其以下の吐出面積に對しては相似形の short tube を作つて實驗を行つた. 吐出口に pipe を附けて其れを air tank に集め, 其 tank より throttle valve を通じて大氣に放出した方がよい譯だが, 實驗装置が複雑となり piping の抵抗は此の場合かなり大きな factor となつて表れるから簡單に上記の方法を採つた. (volute chamber が spiral になつて居る場合は極めて容易に吐出口を air tank に導いて valve を通じて放出せしめることが出来るが)



第 6 圖

尙、此の supercharger の潤滑油としては machine oil を用ひ、約一米の高所に取付けた oil tank より直径 5 mm の pipe によつて齒車装置及び bearing 等を潤滑せしめた。

此實驗に於て測定すべき Data は普通送風器の試験の如く、impeller の廻轉數、supercharger に要する  $FP$ 、吸入空氣量、吸入空氣の壓力及び溫度、吐出壓力と其の溫度等である。electro-dynamometer によつて  $FP_{input}$  と廻轉數を測定し、吸入空氣の壓力及び溫度は第 6 圖に示した位置にて、 $P_a$  は free vortex chamber に取付けてある pipe により、 $t_a$  は 1 個の吐出口に寒暖計を挿入して夫々測定した。

$P_s$ ,  $P_a$  共に水銀の monometer を用ひた。

吸入空氣量は Normdüse によつて測定するが、此の測定は Normdüse の兩側の pressure diff.  $p_1-p_2$ ,  $p_1$  及び  $t_1$  を測定して置けばよいことは申すまでもない。

實驗方法は吐出口の面積を const. に保ち、impeller の廻轉數の變化に對する  $FP_{input}$ , air quantity, delivery pressure, suction pressure, pressure ratio, compression ratio, temperature rise, adiabatic temperature efficiency, overall adiabatic efficiency 等の變化の測定を數回試みることによつて、air quantity に對する廻轉數一定の場合の  $FP_{input}$ , delivery pressure, pressure ratio, compression ratio, temperature rise, adiabatic efficiency, overall adiabatic efficiency 等の性能曲線を求め得らるゝこと今更申すまでもない。

#### 4. 實驗結果の整理及び其考察

實驗結果の整理に當り使用した記號は次の通りである。

$P_a$  = atmospheric pressure in kg/cm.<sup>2</sup>

$P_s$  = suction pressure in kg/cm.<sup>2</sup>. abs.      and  $P_s = P_a - p_s$

$P_a$  = delivery      "      "      "      "      and  $P_a = P_a + p_a$

$T_a$  = atmospheric temperature in °C abs.

$T_s$  = suction air temperature in °C abs.      and  $T_s = 273^\circ + t_s$

$T_a$  = delivery air      "      "      "      "      and  $T_a = 273^\circ + t_a$

$\rho_a$  = density of delivery air in kg/m.<sup>3</sup>

$\rho_s$  =      "      "      suction      "      "      "

$r$  = compression ratio, and  $r = \frac{\rho_a}{\rho_s}$

$Q$  = air quantity in kg/sec.

$\gamma$  = adiabatic index (1.408 for air)

$n'$  = actual index.

$n$  = revolution of impeller per min.

$N$ =revolution of dynamometer per min.

$A_d$ =delivery area in  $\text{cm}^2$

$R$ =gas constant (29.27 for air)

$\eta_{ad}$ =adiabatic temperature efficiency.

$\eta_{0,all}$ =overall adiabatic efficiency.

尚,

$$\eta_{ad} = \frac{T_d' - T_s}{T_d - T_s} \dots\dots\dots(1)$$

茲に

$$T_d' = T_s \left( \frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$\eta_{0,all} = \frac{1}{75 \text{HP}_{input}} \cdot \frac{\gamma R Q T_s \left\{ \left( \frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right\}}{\gamma - 1} \dots\dots\dots(2)$$

$\eta_{ad}$  と  $\eta_{0,all}$  との関係は (1) (2) 兩式より

$$\eta_{0,all} / \eta_{ad} = 1.3467 Q \frac{(T_d - T_s)}{\text{HP}_{input}} \dots\dots\dots(3)$$

compression ratio  $r$  は delivery air の density と suction air の density の比で表した。  $P_d/P_s$  を  $r$  と考へるより compression ratio は容積比であるから  $\rho_d/\rho_s$  の比を  $r$  と決めるべきと思ふ。 pressure ratio<sup>(1)</sup> と compression ratio とを混同し易いから注意を要する。

$\text{HP}_{input}$  は electro-dynamometer によつて測定した値で、此場合 dynamometer の廻轉數の 12.9 倍に gear up して居るから此の gearing に要する power も勿論含んで居る譯である。

**a. 同轉數に對する性能**

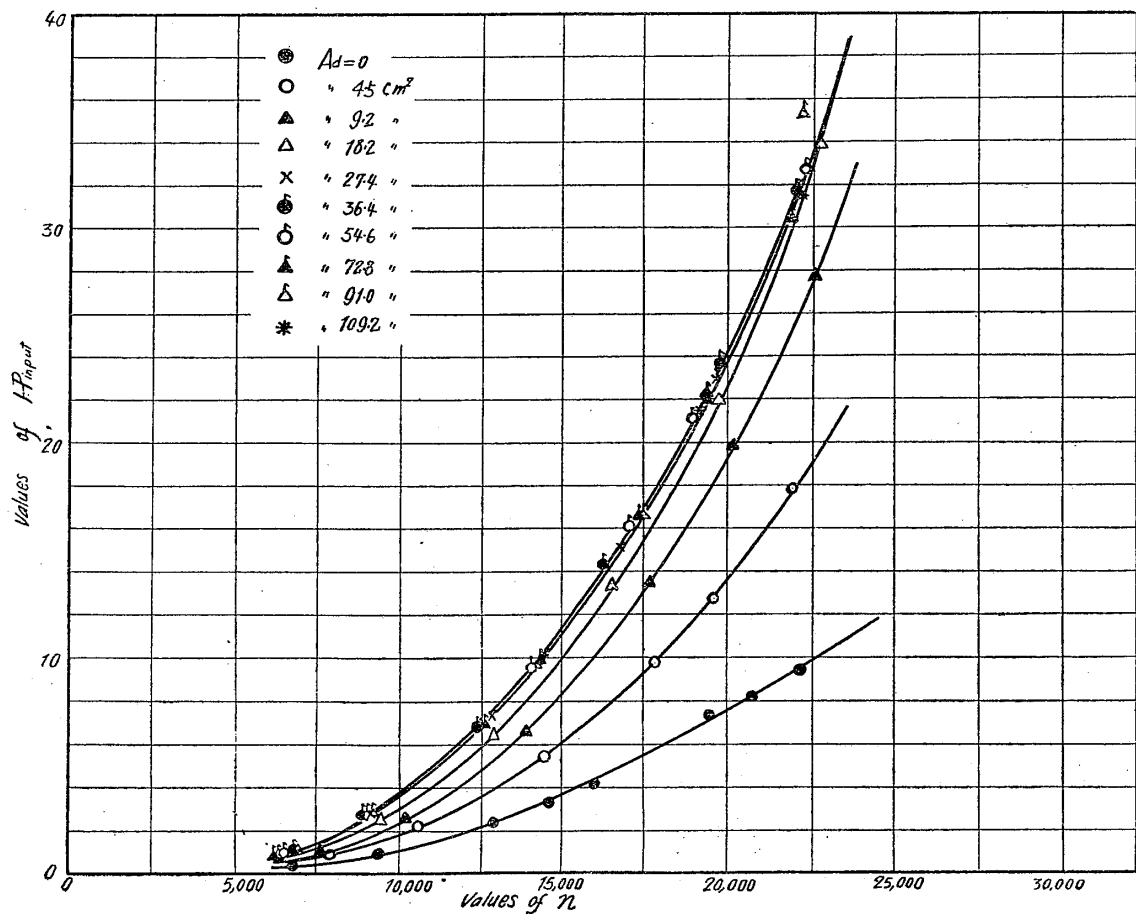
廻轉數に對して此の supercharger の性能が如何に變化するかは第 7~19 圖に示す通りである。第 7 圖は  $\text{HP}_{input}$  と廻轉數との關係を示したもので  $\text{HP}_{input}$  が  $n$  の大略 3 乘に比例することは知られて居ることであるが、この index の値を精確に求めることは一寸困難だから、あまり意味がないが gearing による loss 其他を含む場合の index の値を検べて見ると第 17 圖の様に約 3~2.75 の値を示した。第 8 圖は  $P_d/P_s$  と  $n$  の關係、第 9 圖は  $P_d/P_s$  所謂 pressure ratio と  $n$  の關係、第 10 圖は  $r$  と  $n$  の關係を夫々示す。第 8 圖と第 9 圖

(1) pressure ratio は本當の意味に於て suction port に suction pipe を付けた場合、pipe 中の pressure head を考慮しなければいけないと思ふが、今度の實驗に於て suction pipe 中の空氣速度は空氣量の最大の所で約 17 m/sec 位であるから、velocity head を考慮した pressure ratio と neglect したものととの割合は 0.20 %位の差違で済むから簡単に velocity head を neglect して整理した。

は大體同一性質のものであるが、第10圖は大いに其様子を異にして居る。  $A_a \doteq 20 \text{ cm}^2$  の附近では  $P_d/P_s$  と同様な傾向を有する、其他の  $A_a$  では或廻轉に於て曲線が飽和することを示して居る。 delivery pressure  $p_d$  が  $n$  に對して2乗に比例するとも既に知られたことであるが、此の supercharger の場合を検べると大體  $A_a = 20 \text{ cm}^2$  の附近で index の値が最高値を示して居る。 index の値は第18圖に示す様に 1.75~2.1 の範圍にある。  $T_a - T_s$  即ち溫度上昇と廻轉數の關係は第11圖に示す。 溫度上昇は大體  $n$  の2乗に比例することも知られて居るが、檢べて見ると第19圖に示す様に 2.3~2.1 の間にあつて  $A_a \doteq 20 \text{ cm}^2$  の所では minimum value を與へて居る様である。

第12圖には空氣量  $Q$  と  $n$  との關係で、或廻轉數に達するまでは  $A_a$  の値に關係なく殆んど直線的に増加を見るが  $A_a = 20 \text{ cm}^2$  以外の  $A_a$  の値に對しては或廻轉以上になると漸次直線的性質を失ふ。

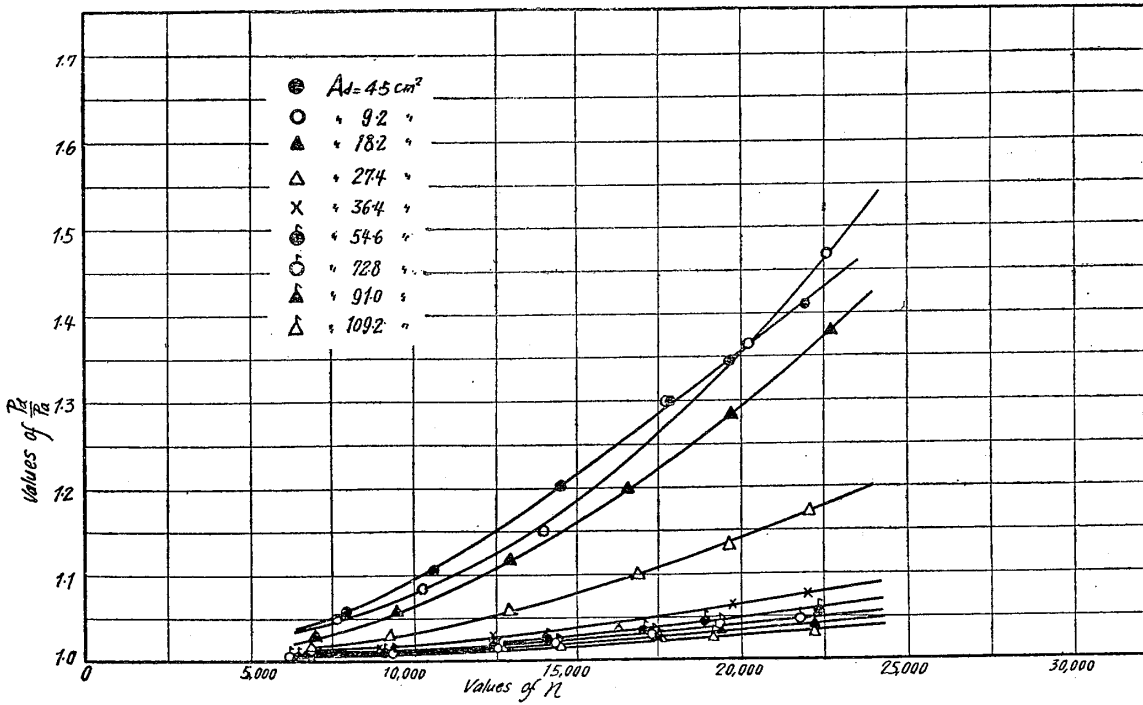
第13圖は  $v_{0.011}$  と  $v_{aa}$  との比と  $n$  との關係を表したもので大體 75~88% の範圍であつて  $v_{0.011}$  の最高値を與へる所が、此の  $v_{0.011}/v_{aa}$  の値が最高でないことを示して居る。



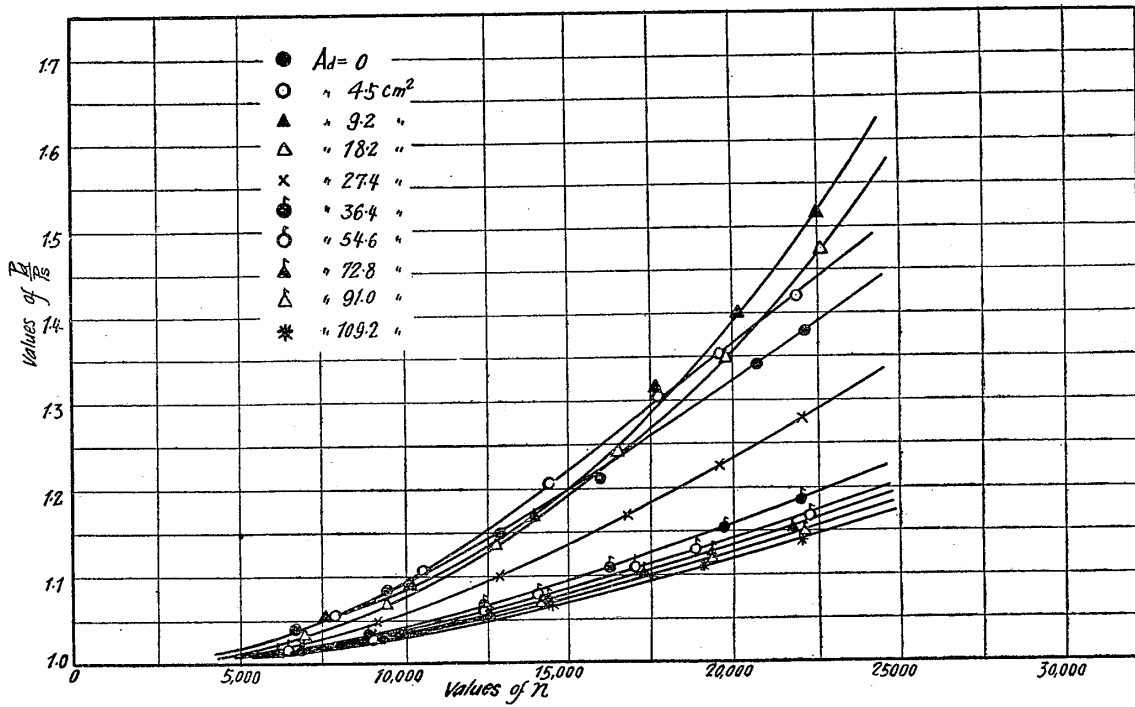
第 7 圖

第14圖は  $v_{ad}$  と  $n$  との関係, 第15圖は  $v_{0.all}$  との関係を示したものであるが,  $v_{0.all}$  の方が比較的平な曲線となつて居る. 何れの場合も豫定の廻轉數以下で飽和して居る.

第16は  $n$  と actual index  $n'$  との関係を示したもので  $A_d=20 \text{ cm}^2$  の附近では大體廻



第 8 圖

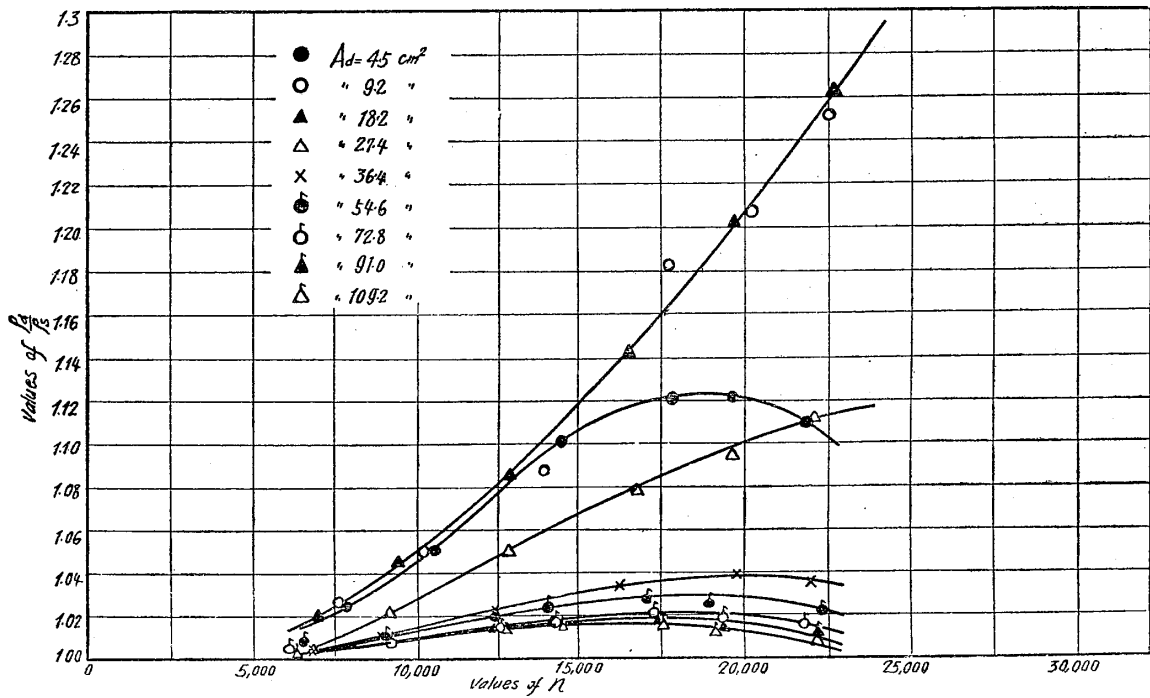


第 9 圖

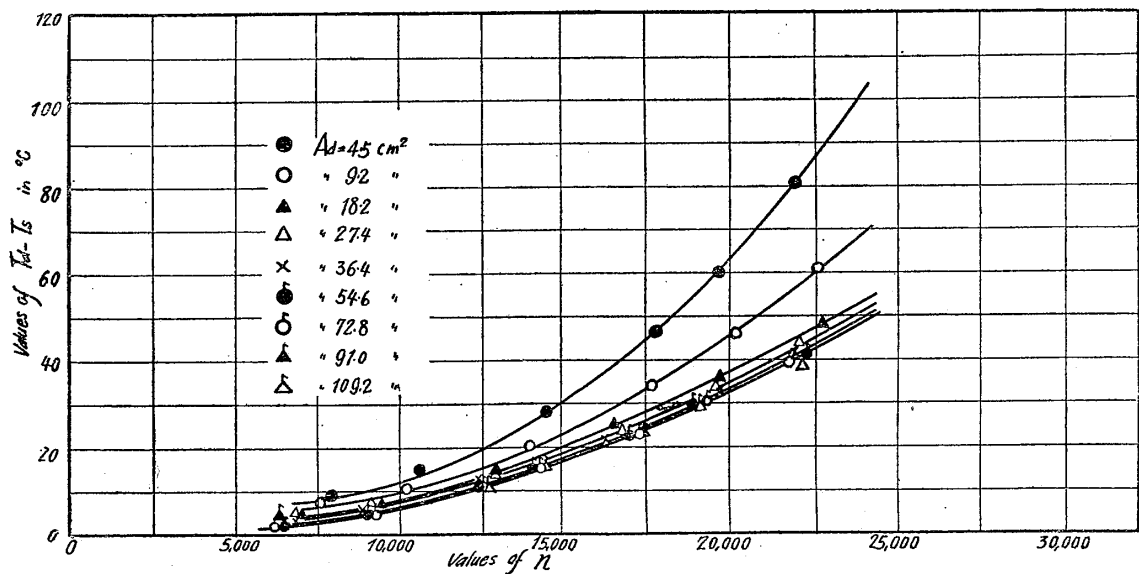


轉に對して const. の値を示して居る.

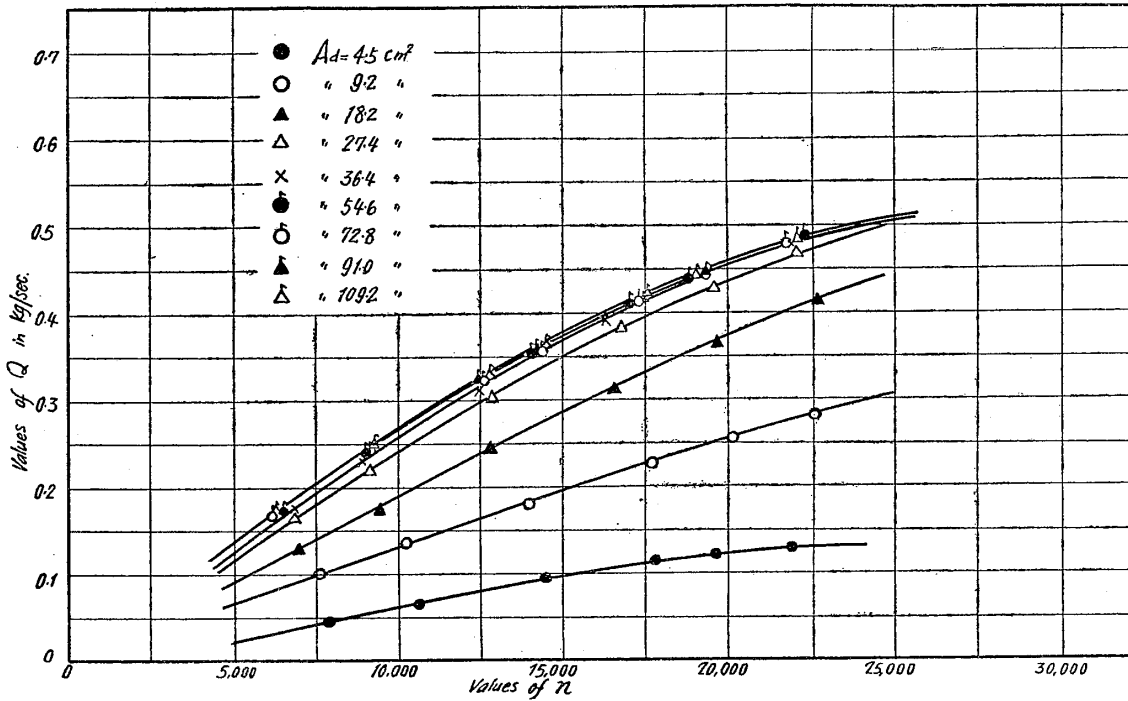
$A_d \div 20 \text{ cm}^2$  は Jaguar engine の suction valve の opening-time integral に相當する吐出面積の値に近いものである.



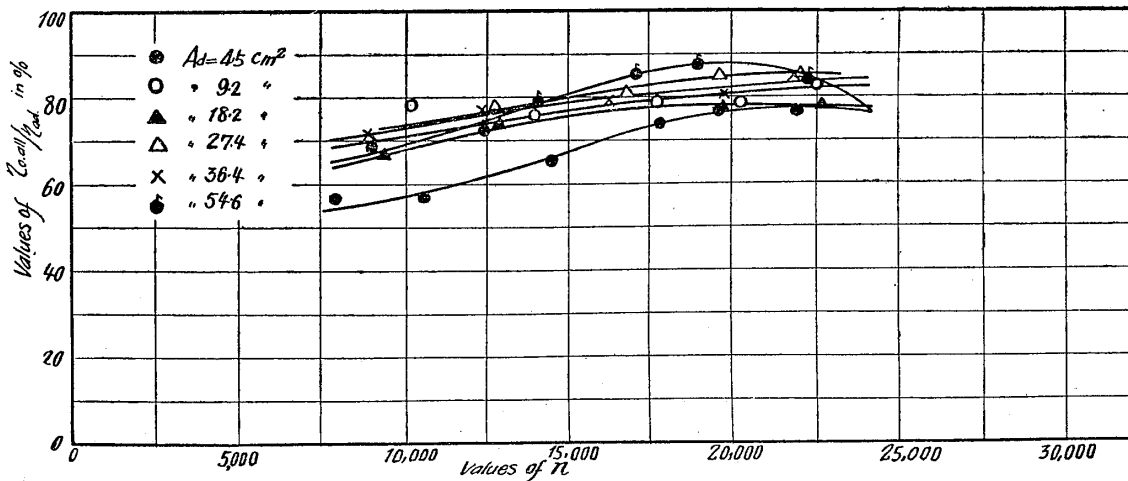
第 10 圖



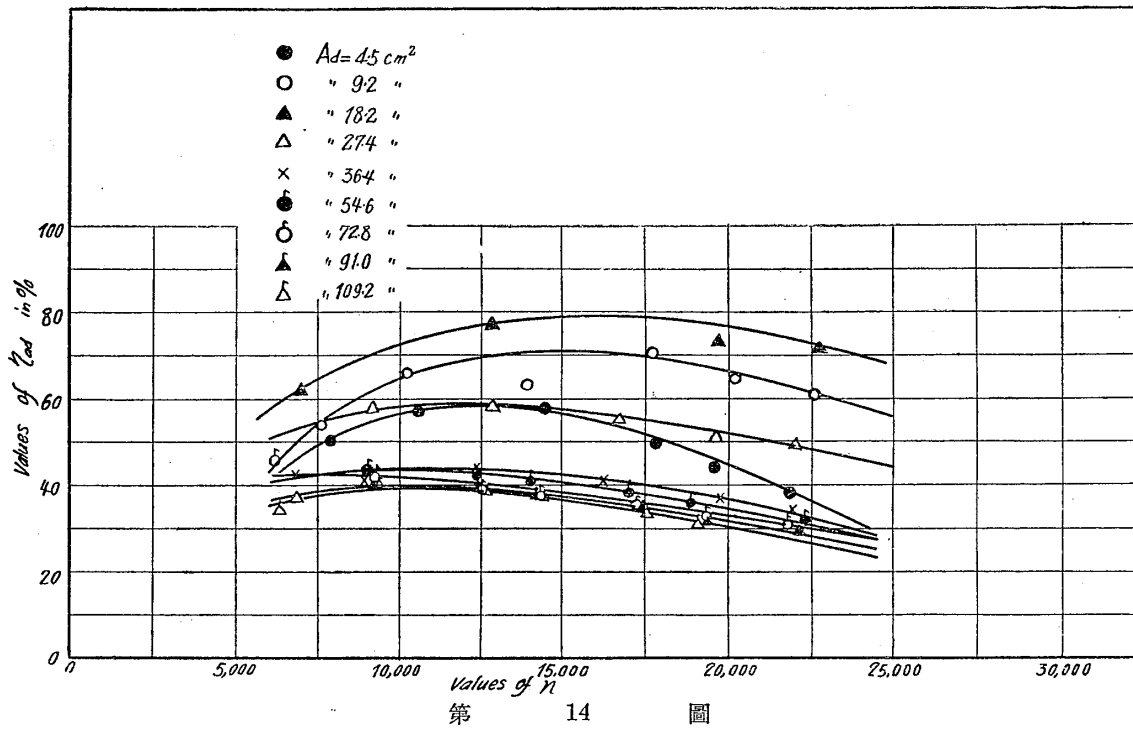
第 11 圖



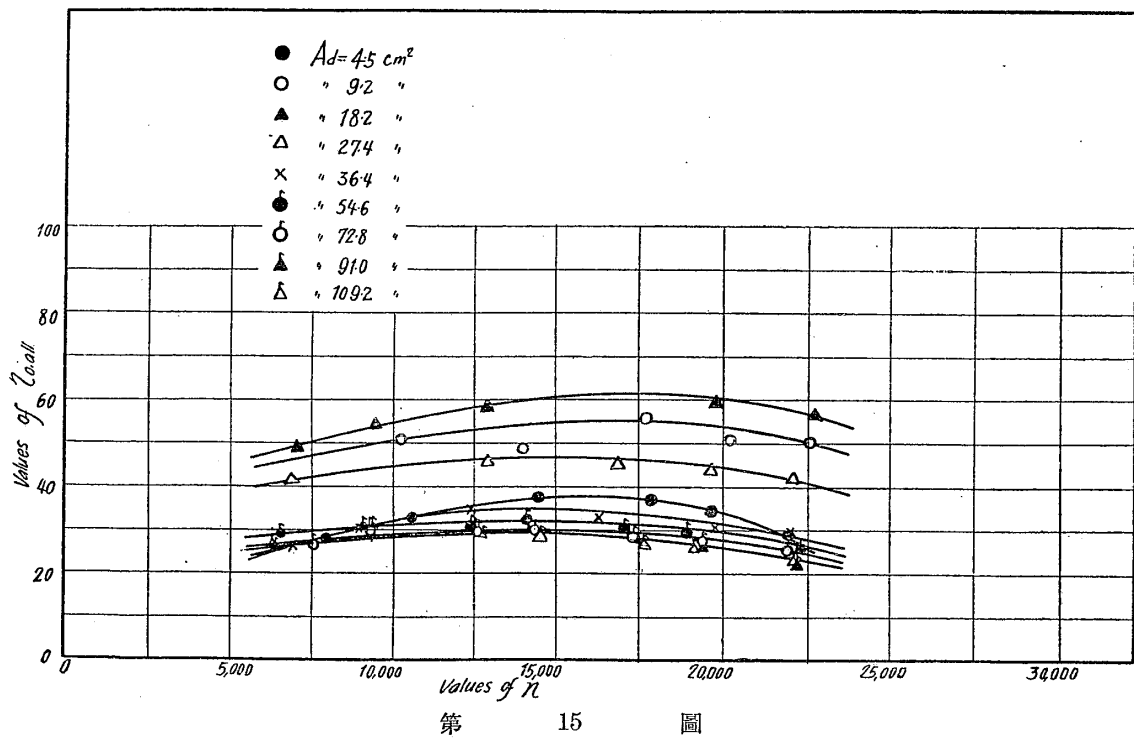
第 12 圖



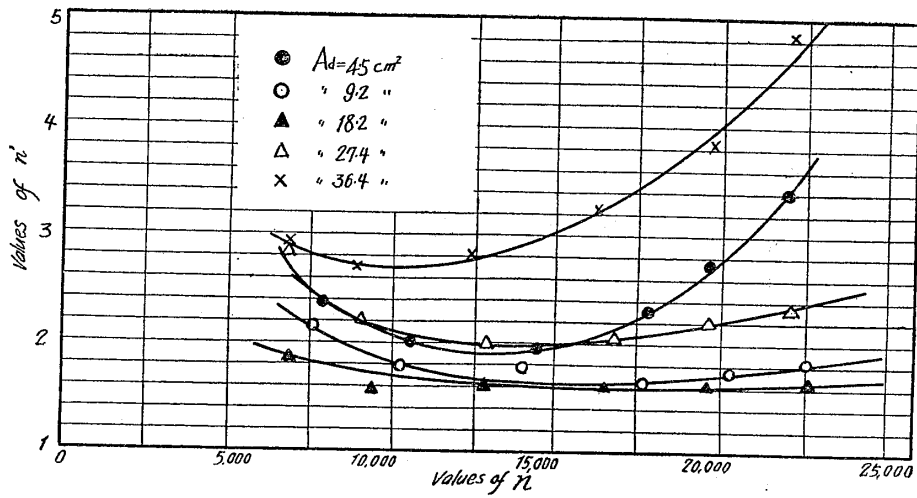
第 13 圖



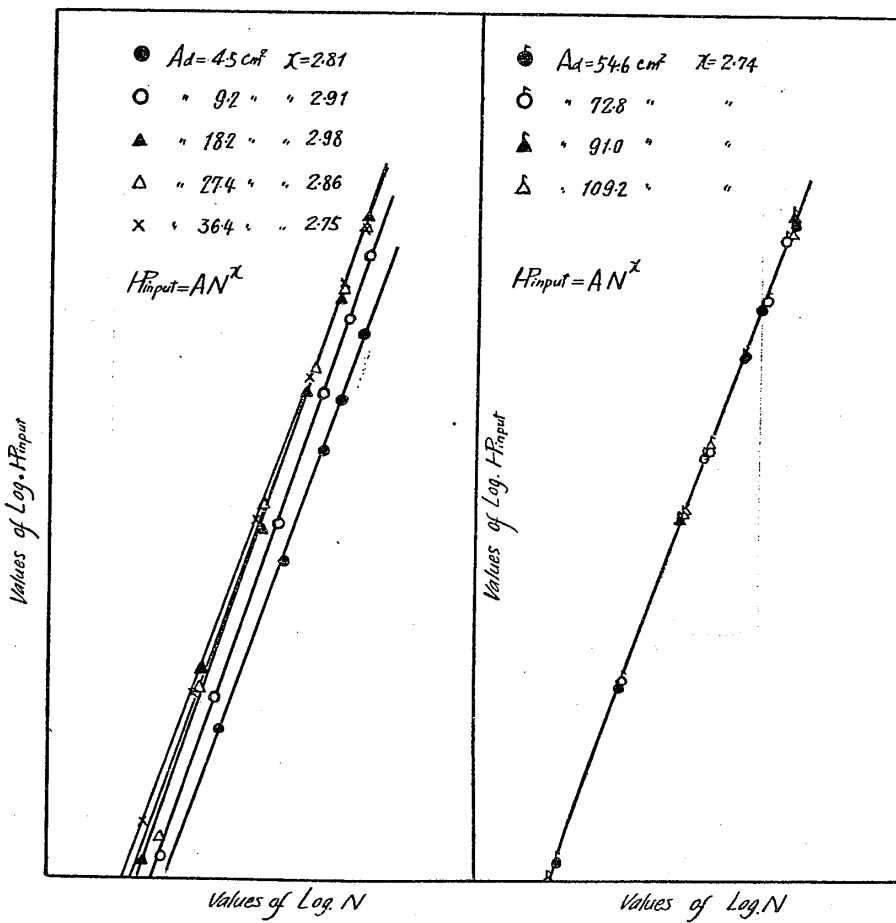
第 14 圖



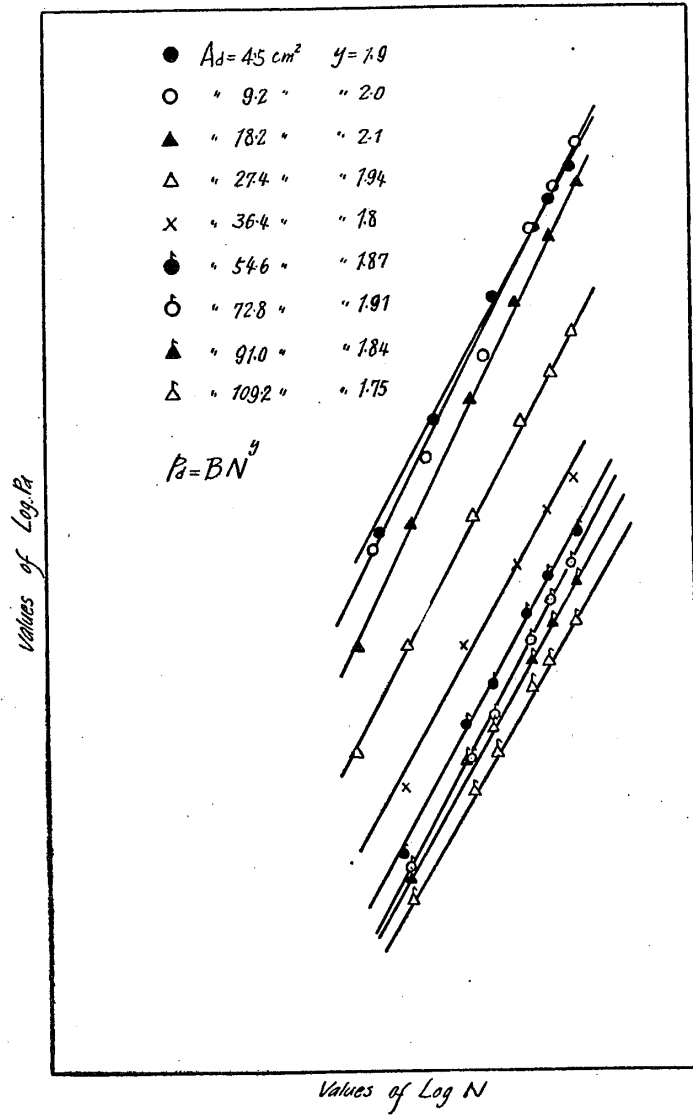
第 15 圖



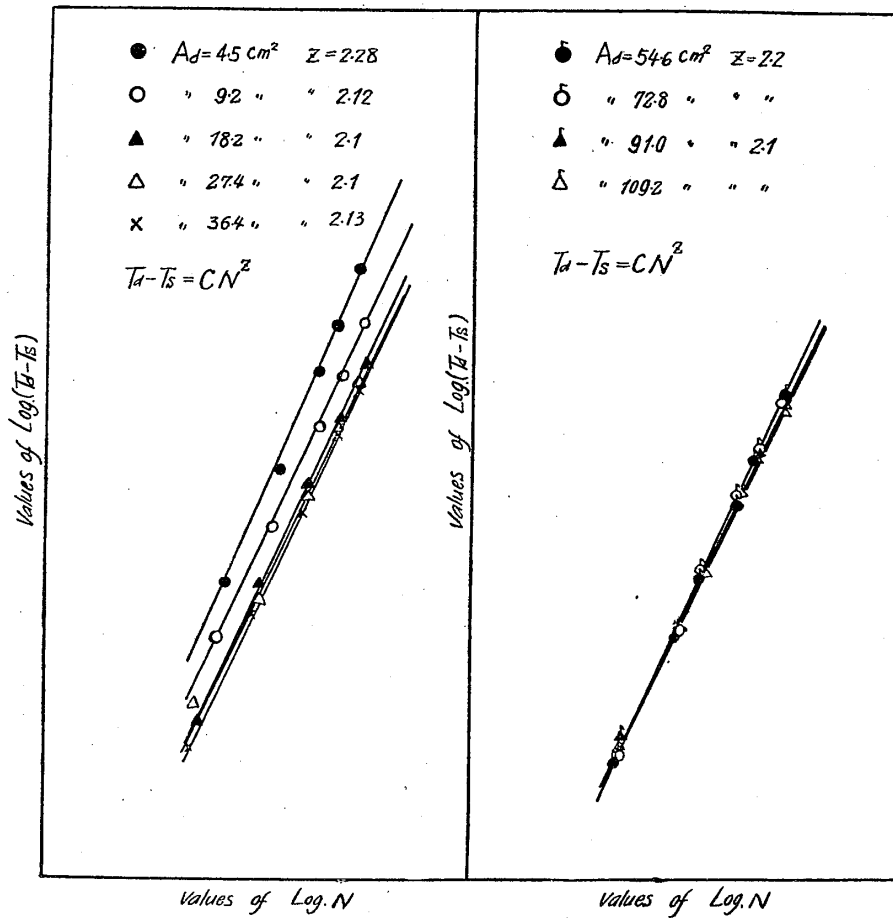
第 16 圖



第 17 圖



第 18 圖



第 19 圖

b. 吐出面積に関する性能

吐出面積に関する性能は大體空氣量に對する性能と同性質のものであることは云ふまでもないが、参考のために第 20~28 圖に示して置く。

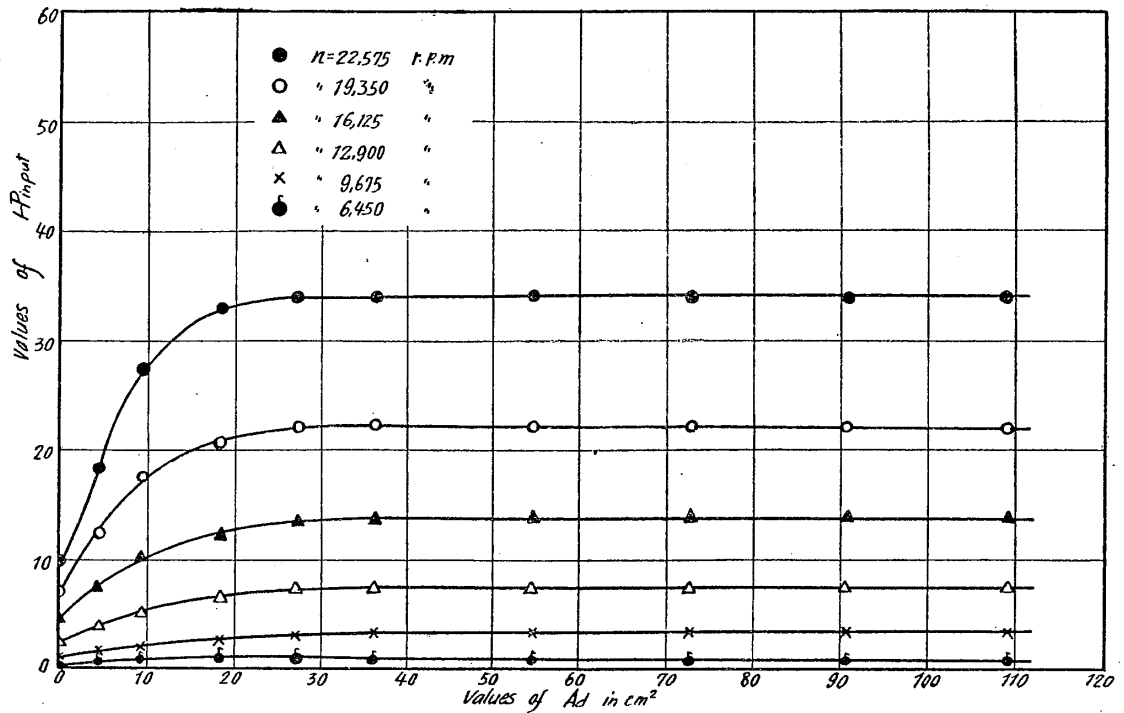
第 20 圖は  $A_d$  と  $F_{\text{input}}$  の關係で  $A_d \doteq 25 \text{ cm}^2$  に達すると  $F_{\text{input}}$  は各廻轉を通じて飽和することを示して居る。

第 21 圖は  $P_a/P_s$  と  $A_d$ , 第 22 圖は pressure ratio と  $A_d$ , 第 23 圖は  $A_d$  と compression ratio との關係を夫々示す。第 21, 22 圖は共に  $A_d \doteq 10 \text{ cm}^2$  の附近で飽和して居るが、第 23 圖では  $A_d \doteq 14 \text{ cm}^2$  附近で飽和する様である。即ち豫定の  $A_d$  に compression ratio の方が pressure ratio の場合より近い譯であるから、pressure ratio maximum の所を使用する必要なく、supercharger の空氣量と其 weight との比を大きくならしめる目的には寧ろ compression ratio の値の飽和點を幾分 pass した附近を其 supercharger の豫定の  $A_d$  に擇ぶべきものとする。

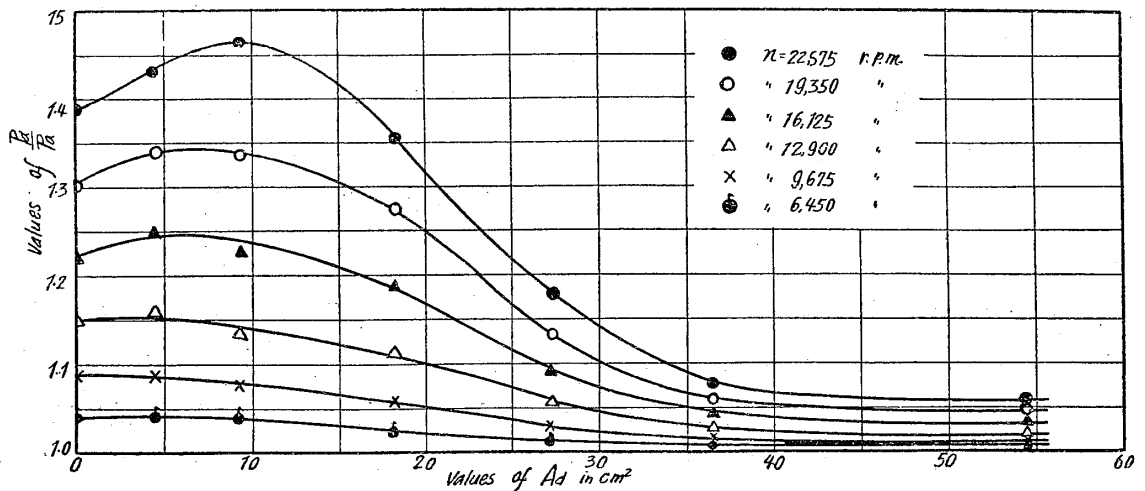
$T_a - T_s$  と  $A_a$  との関係を第24圖に示したが別に變化なく普通の形である。

第25圖は空氣量と  $A_a$  の関係で、これも  $A_a$  と  $P_{input}$  の関係の様に  $A_a \div 40 \text{ cm}^2$  以上では飽和の状態に達して居る。

第26圖は斷熱溫度効率と  $A_a$  の関係、第27圖は全斷熱効率と  $A_a$  の関係を示したものであるが、共に  $A_a \div 15 \text{ cm}^2$  附近が maximum value を與へて居て大略 compression ratio maximum を與へる  $A_a$  と可成接近して居る。 pressure ratio maximum を與へる所が



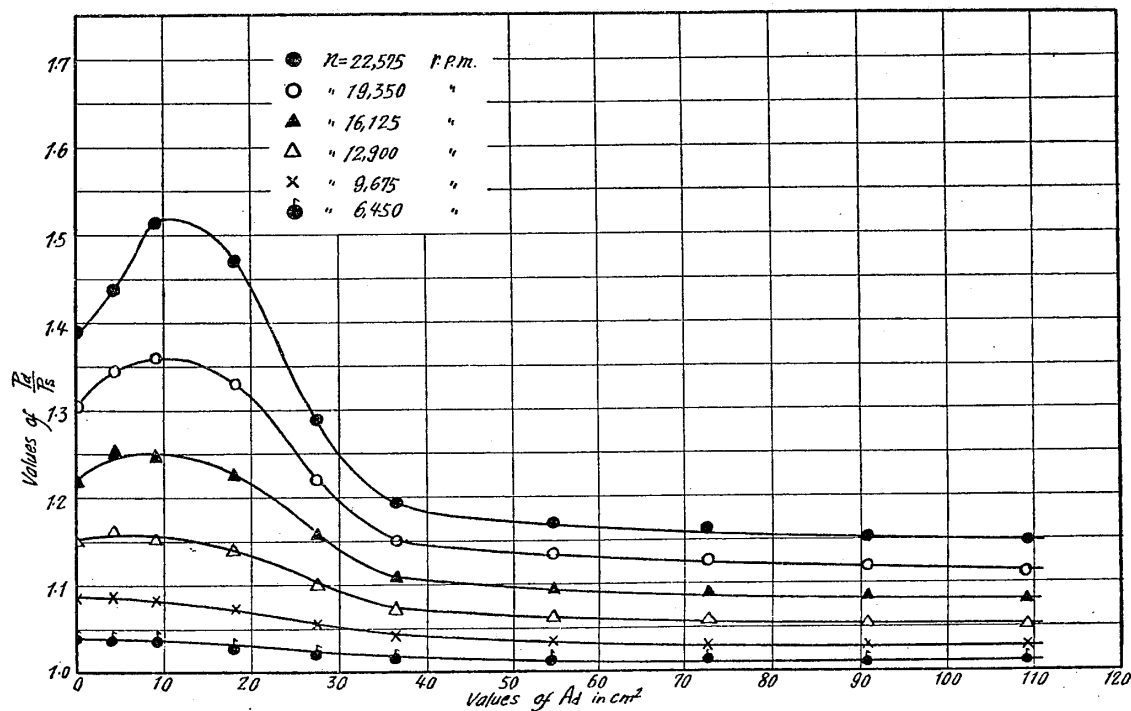
第 20 圖



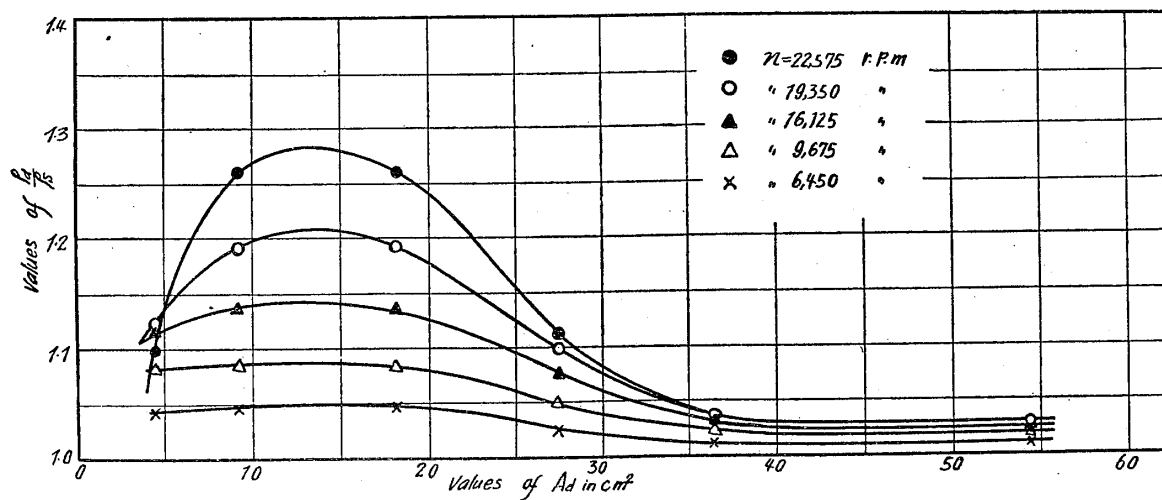
第 21 圖

maximum  $\eta_{0,a11}$  を與へる點でないことが分る。

第28圖は actual index  $n'$  と  $A_a$ ,  $A_a$  と  $Q$  との關係を示したもので, maximum  $\eta_{0,a11}$  を與へる  $A_a$  が maximum  $n'$  を與へて居るのは當然な事柄である。

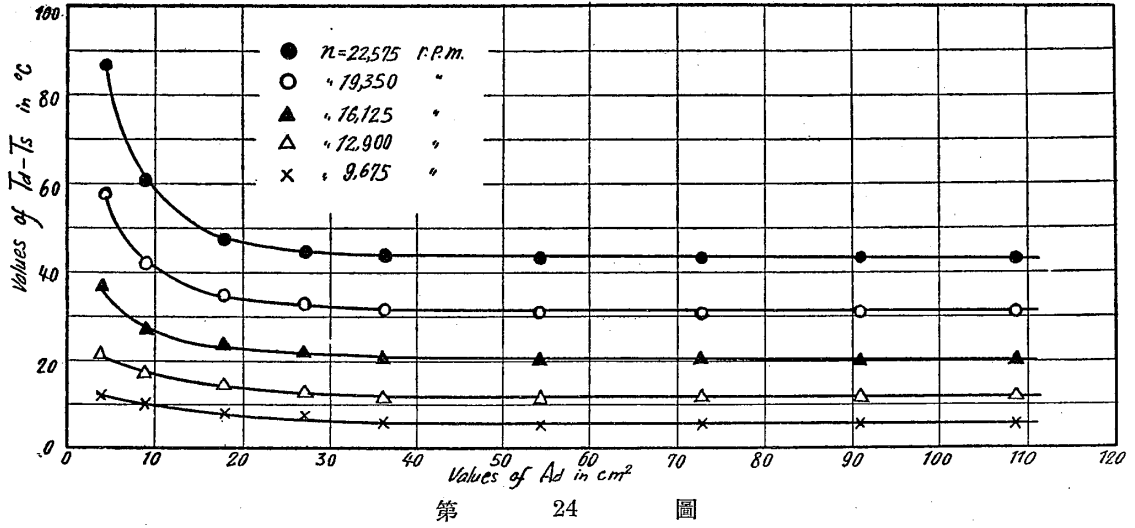


第 22 圖

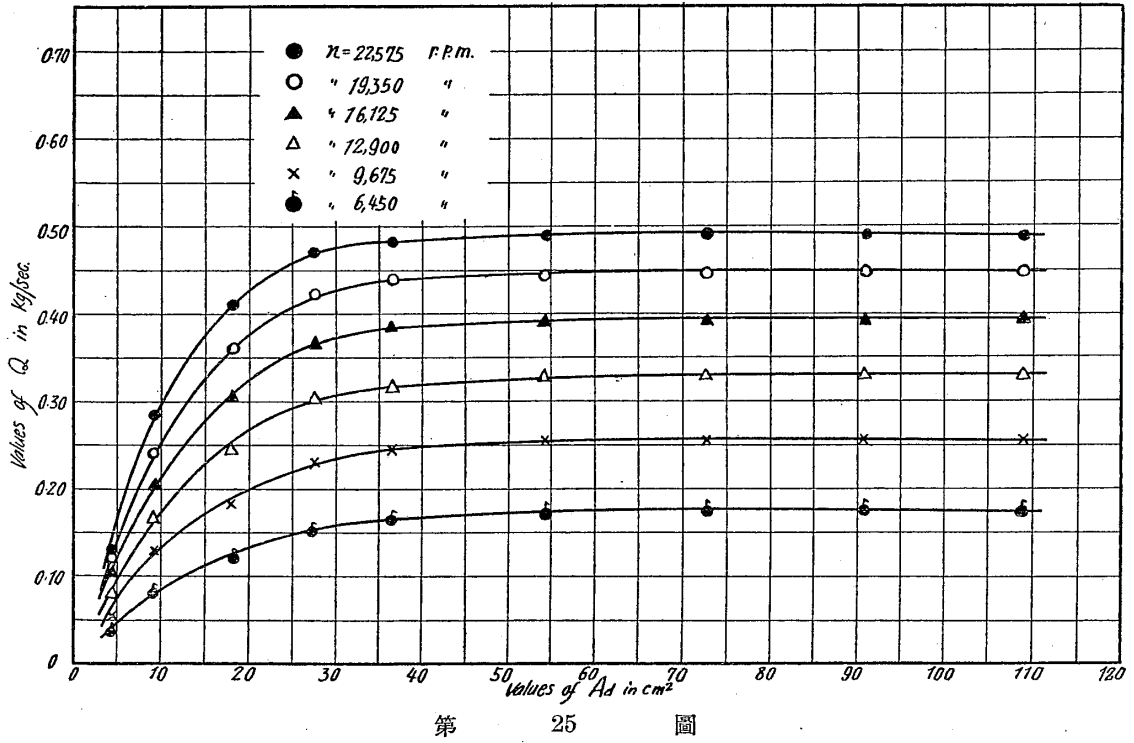


第 23 圖

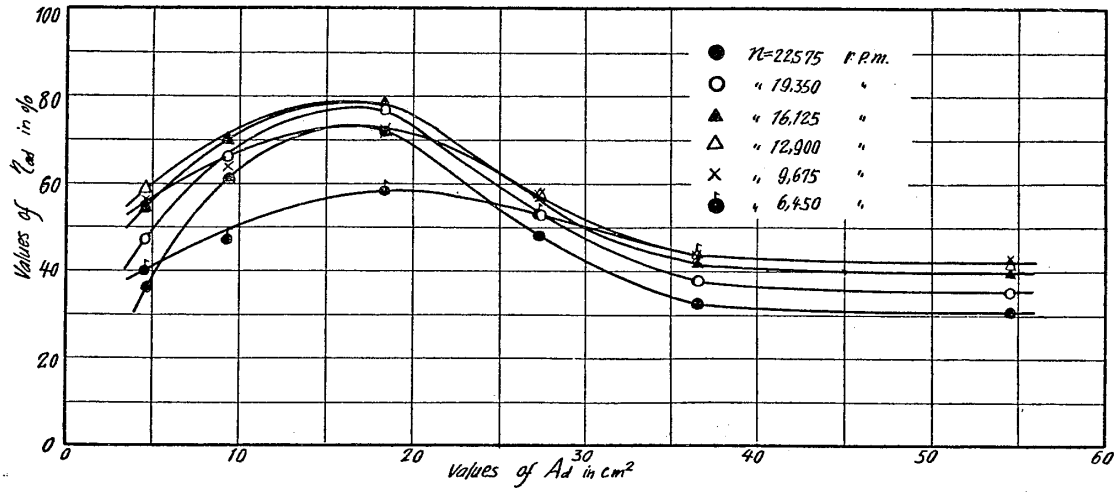




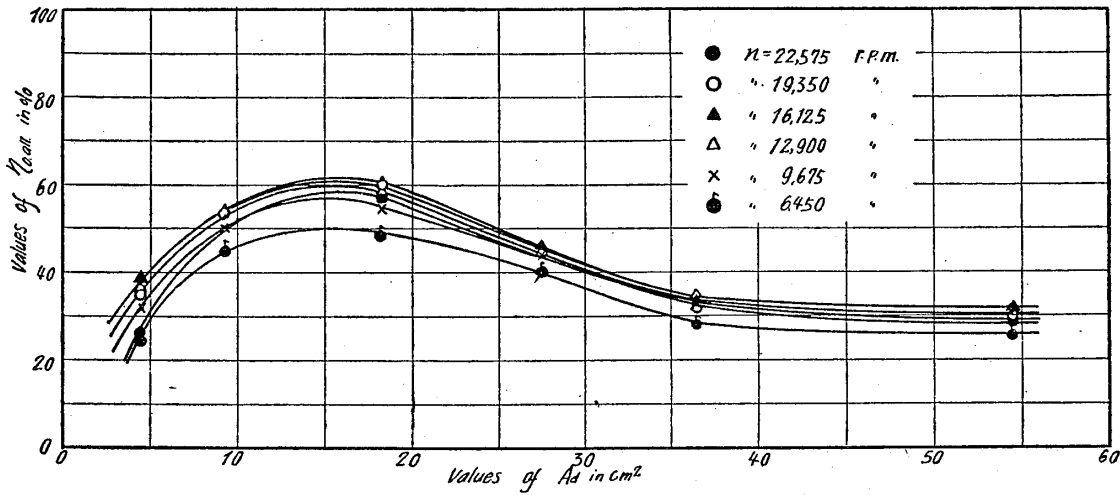
第 24 圖



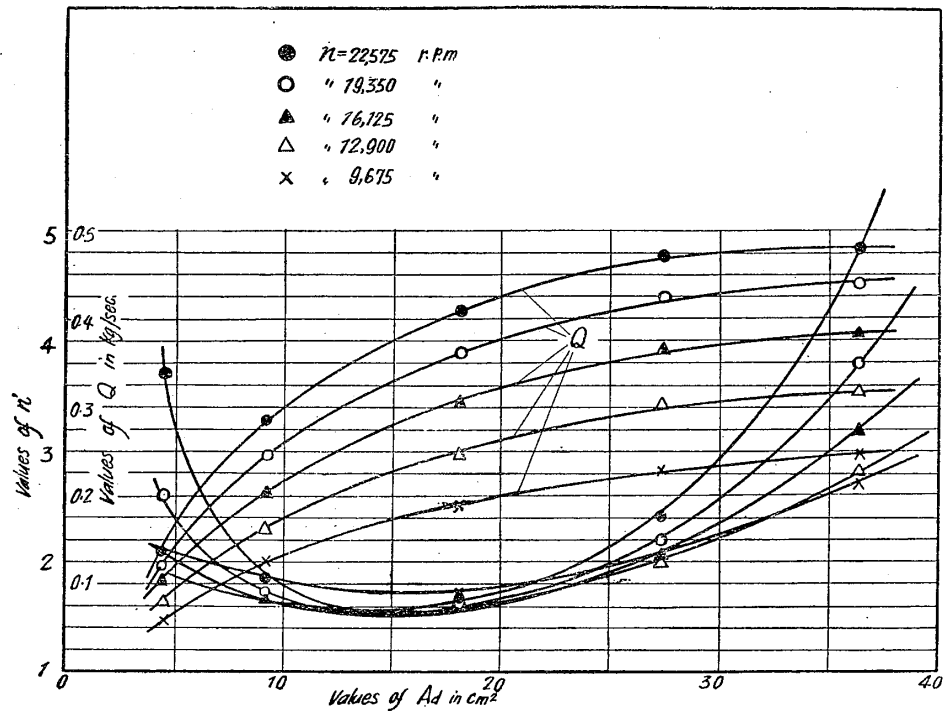
第 25 圖



第 26 圖



第 27 圖



第 28 圖

## c. 空氣量に対する性能

空氣量に関する性能を知るには前述の廻轉數に對する性能より plot し直して求めるもので、所謂性能曲線とは此の空氣量に對する性能を稱して居るのである。

結果は第29~37圖に示してある。第29圖は空氣量と  $FP_{input}$  の關係で、 $FP_{input}$  は  $Q$  に殆んど比例して増加し、或  $Q$  の値に達して飽和して居る。第30圖は  $Q$  と  $P_d/P_a$  の關係、第31圖は pressure ratio と  $Q$  の關係を示したものであるが、兩圖共に殆んど同性質で或  $Q$  の値に達するまでは  $P_d/P_a$  及び  $r$  の値は増加し遂に飽和して其後降下する事實は一般送風器の性質と何等變りがない。第32圖は compression ratio と  $Q$  の關係で pressure ratio の曲線と同性質のものであるが、其飽和點は compression ratio の方が  $Q$  の値の大きい所に存在して居る。

第33は temperature rise と  $Q$  との關係で  $Q$  の増加に伴ひ  $T_a - T_s$  の値の減少すること普通の形である。

第34圖は斷熱溫度効率と  $Q$  の關係、第35圖は全斷熱効率と  $Q$  との關係を表示したものであるが、各廻轉に對し maximum  $\eta_{ad}$  を與へる  $Q$  と maximum  $\eta_{o.all}$  を與へる  $Q$  とは大體一致して居る。

第36圖は  $Q$  と pressure ratio 及び  $Q$  と等全斷熱効率の關係を表示したもので、max-

imum  $\eta_{0,all}$  は  $n \div 16,000$  の前後,  $Q \div 0.3$  の附近に存在して居る,

第 37 圖は actual index  $n'$  と  $Q$  の關係を示す.

第 38 圖は  $\log T_d/T_s$  と  $\log P_d/P_s$  との關係で

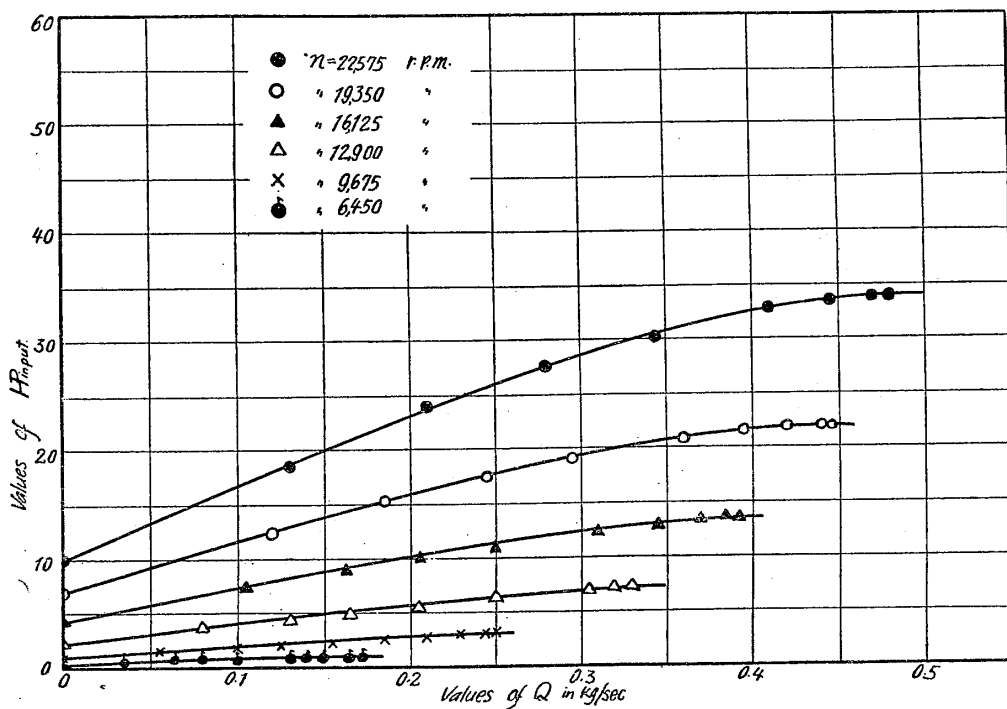
$n'$  の値は

$$\frac{n'-1}{n'} = \frac{\log \frac{T_d}{T_s}}{\log \frac{P_d}{P_s}} \dots\dots\dots(4)$$

より求める.

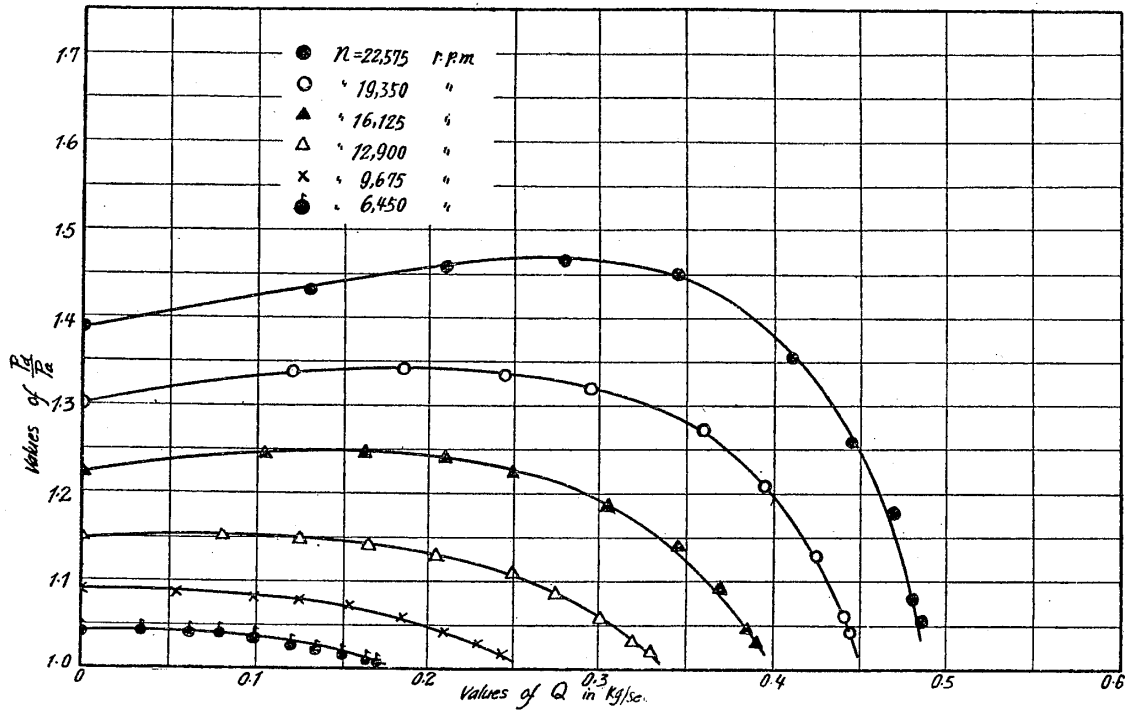
計算の結果  $n'$  は共に adiabatic index  $r$  より大きく, 豫定の  $A_a$  附近で minimum value を與へて居る事實は一般送風器の其れと同様で此等の現象は説明するまでもなく良く知られて居る.<sup>(1)</sup>

前述の第 28 圖に於て  $A_a \div 15 \text{ cm}^2$  附近で minimum index valve を與へて居るのは shock loss, eddy loss, surface friction loss 等の各種の loss の和が minimum value を與へる理由に基くことは云ふまでもない.

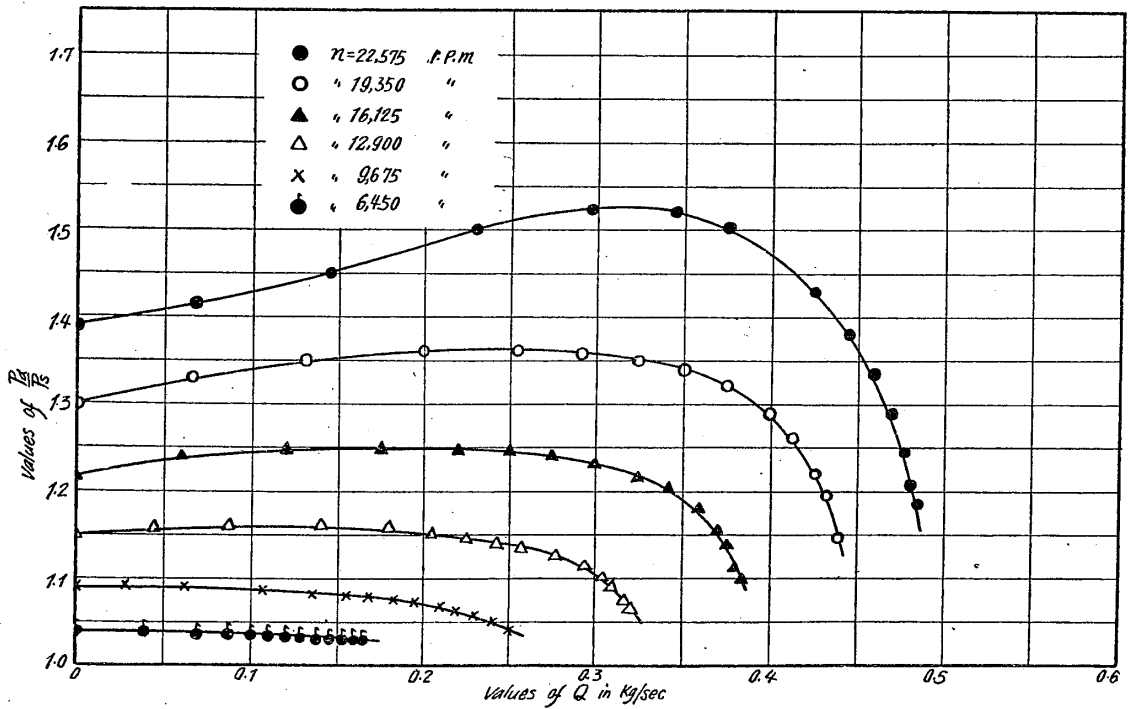


第 29 圖

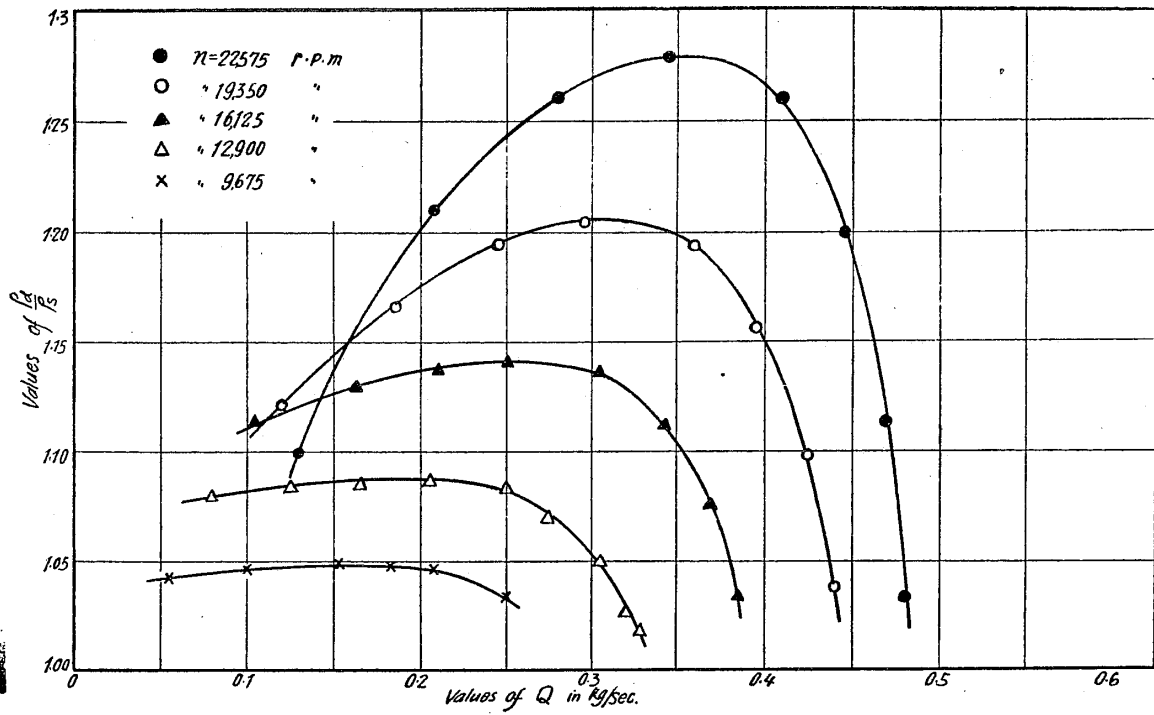
(1) Kearton: Turbo-Blowers and Compressors, p. 107.



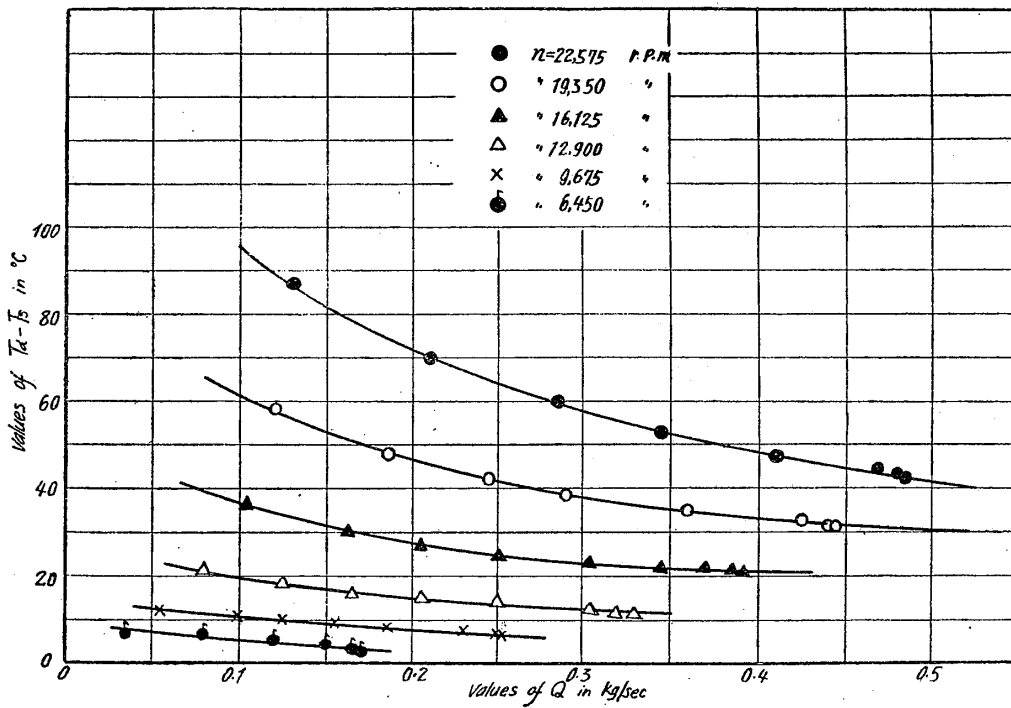
第 30 圖



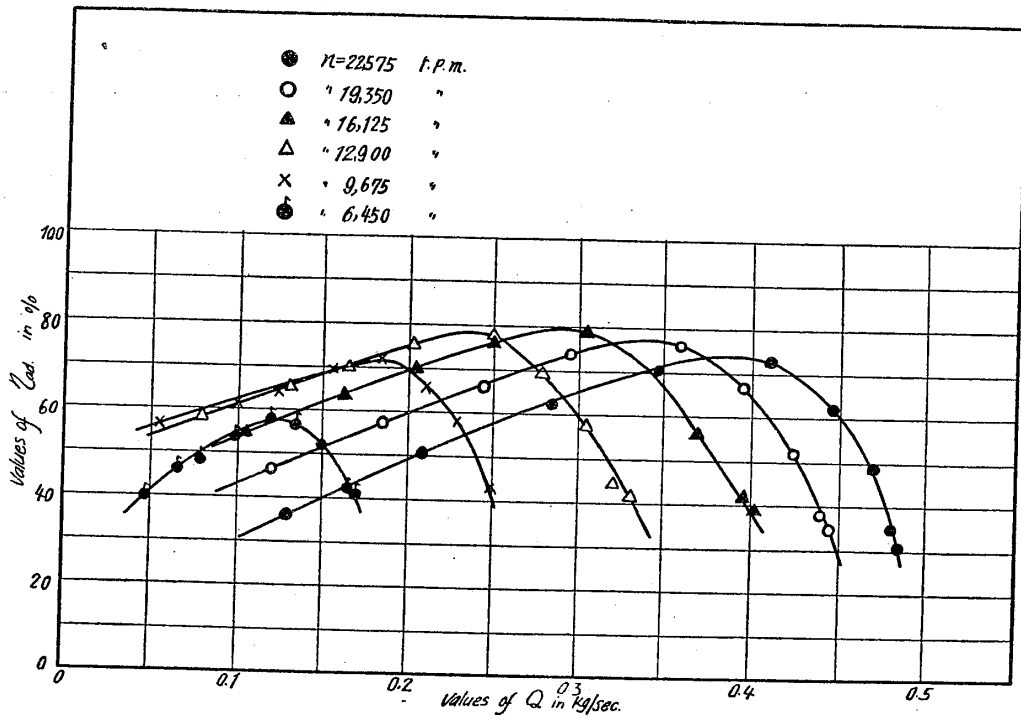
第 31 圖



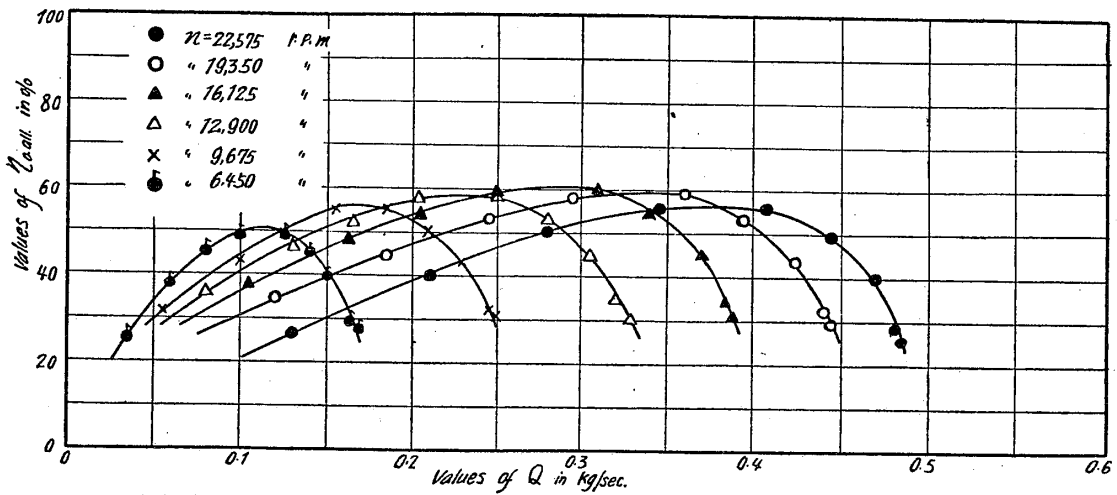
第 32 圖



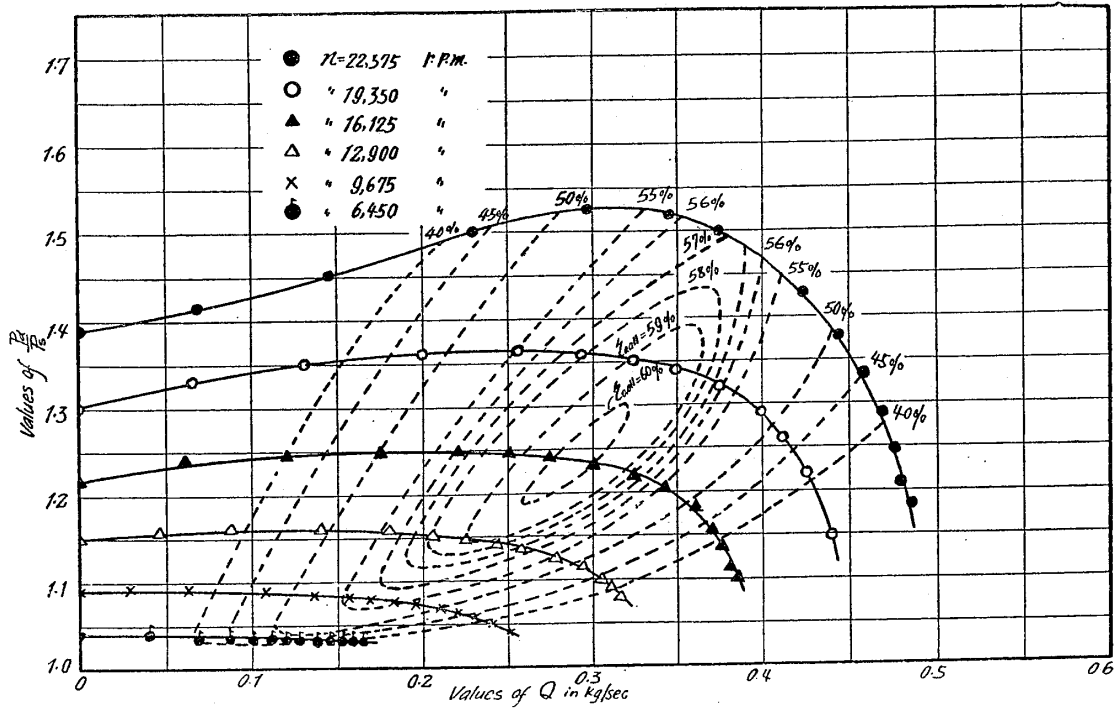
第 33 圖



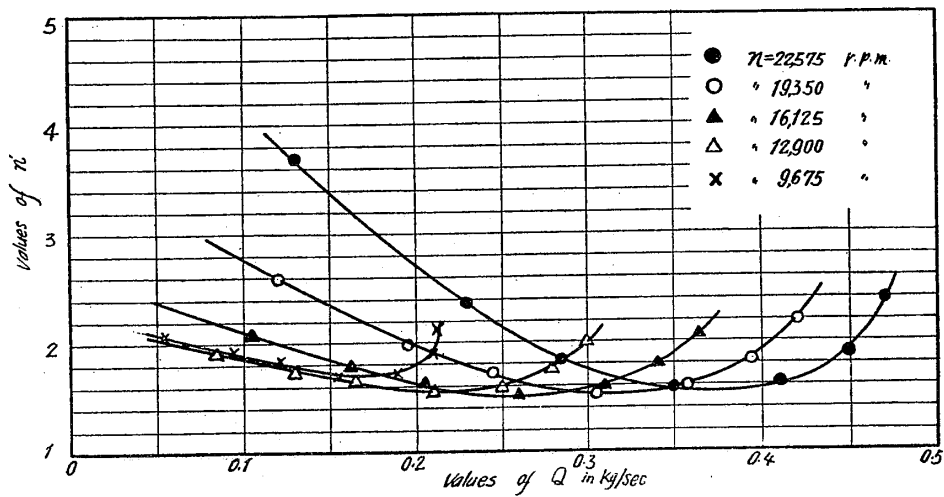
第 34 圖



第 35 圖

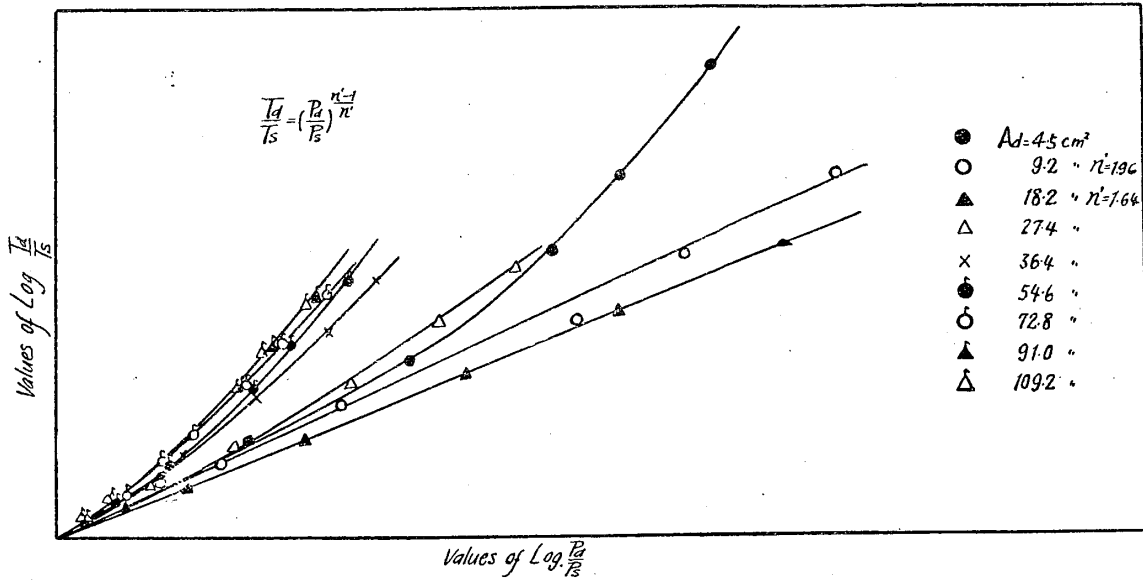


第 36 圖

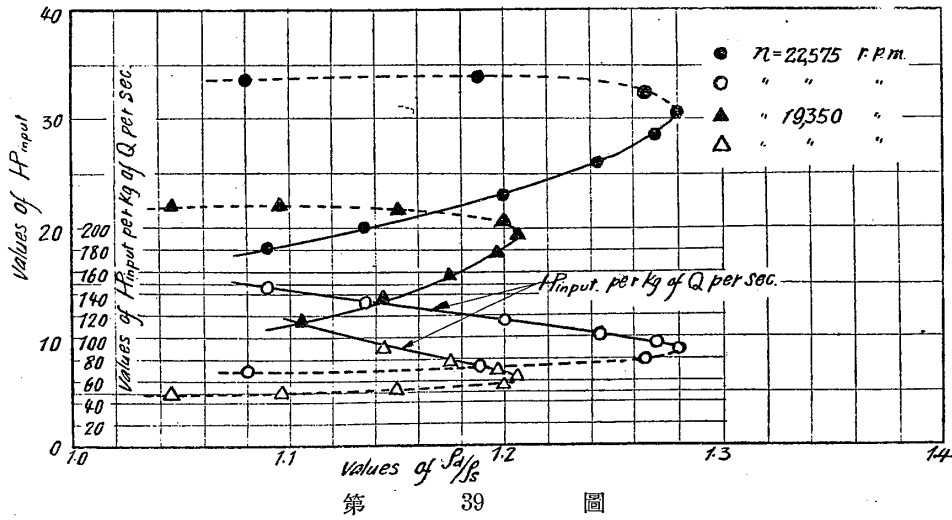


第 37 圖

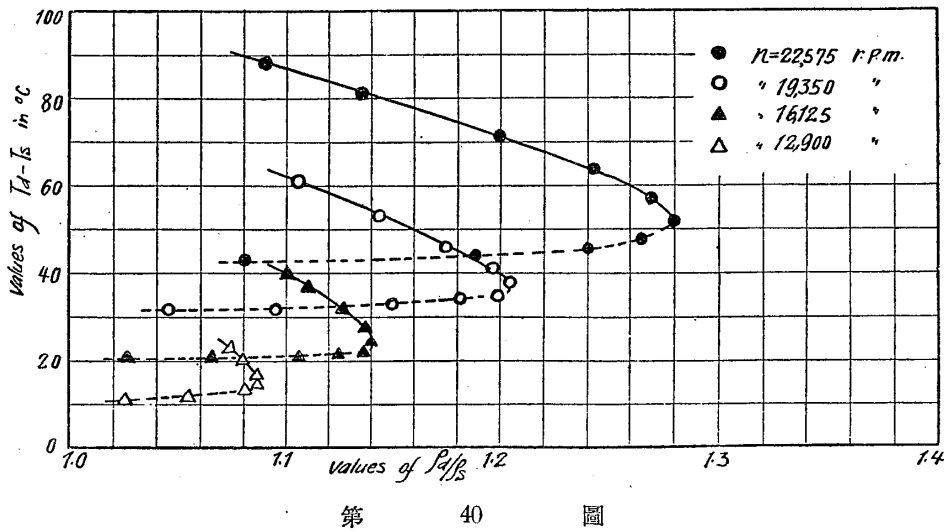




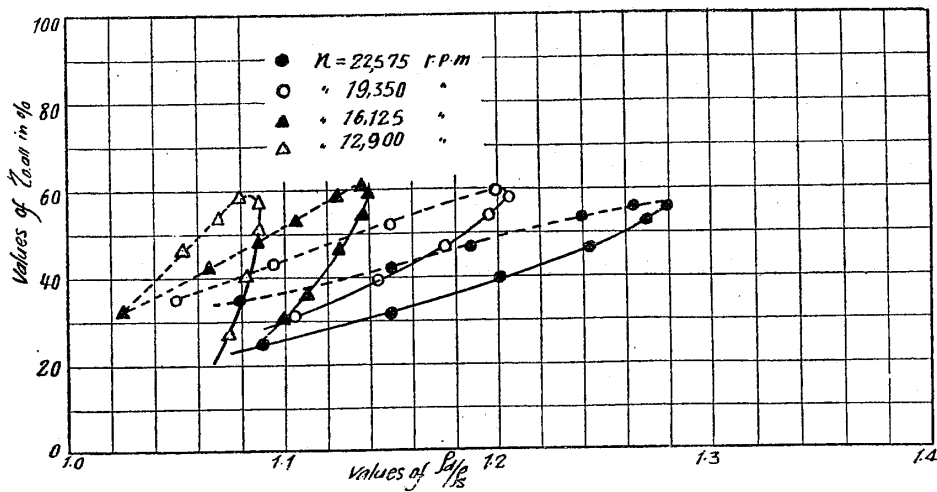
第 38 圖



第 39 圖



第 40 圖



第 41 圖

d. 壓縮比に対する性能

第 39 圖に示したものは compression ratio  $r$  と  $HP_{input}$  の関係で第 29 圖と第 32 圖より求めたものである。compression ratio が  $Q$  の増加と共に増加する場合、 $HP_{input}$  は高い値を示し、compression ratio が降下し始める  $Q$  の値より  $Q$  が increase しても  $HP_{input}$  は const. に保つて居る。圖中實線は  $Q$  の増加と共に  $\rho_a/\rho_s$  が増加する範囲を示し點線は  $Q$  の増加を見ても compression ratio の降下を來す範囲を表示したものであるから、この實線と點線の變り目が此の廻轉に於ける本當の意味の  $HP_{input}$  と考へた方がよいと思ふ。

第 40 圖は compression ratio と temperature rise の關係を示したもので、第 32 圖と第 33 圖より求めたものである。 $HP_{input}$  の場合と反對に compression ratio の増加に伴ひ  $T_a - T_s$  が降下し、compression ratio maximum point を越した後は殆んど const. に保つて居る。各回轉數に對して同様の傾向がある。實線と點線の意味は第 39 圖の場合と同様である。

第 41 圖は全斷熱効率と compression ratio との關係で、 $n$  が豫定の附近で實線と點線との變り目即ち compression ratio の maximum value を與へる點が其廻轉數に於ける maximum  $\eta_{0,all}$  を與へて居るから性能の優秀さを裏書して居る譯である。少し慾を言へば豫定の廻轉にて、maximum  $\eta_{0,all}$  を與へる  $Q$  が maximum compression ratio の  $Q$  と一致して欲しいものである。

5. 結 言

以上 Jaguar supercharger の所謂性能實驗（地上）結果及び之に對する簡単な説明を述べたが、未だ説明不十分である筈であるが取敢えず第一報として性能實驗のみを報告する。

supercharger の地上性能と高空性能との比較に就ては既に supercharger の入口の condition を變へて行つた實驗<sup>(1)</sup>があるが、高空に於ける性能中特に  $FP_{input}$  が大きな變化を來す譯で、上記の論文にて定めた  $FP_{input}$  の値と  $FP_{input}$  は廻轉數同一の場合大氣の密度と溫度に比例するものと考へたもの（此の場合は結局大氣壓の比を地上の  $FP_{input}$  に乗することになる）と比較すると大體 1 km に付き 1.2% 當り大氣壓に比例するものと考へた方が大きく出て來るから、高度の低い場合は  $FP_{input}$  は大氣壓に比例して減少するものと思つても差支ない様である。

又、此の supercharger の pressure ratio 値であるが、此の實驗は air を流して行つたものであるから gasoline と air の mixture の場合より勿論其値が小さい事は既に知られて居る事實で、此の實驗結果より mixture の場合の pressure ratio を計算する方法も亦 Brooke によつて用ひられて居るが、大體 gasoline の蒸發の程度によつて 2%~6% 位の増加を見る筈である（尙、 $FP_{input}$  も大體 10% 内外の増加を來す様である）併し pressure ratio の増加が以上の値を示すが delivery pressure の増加が幾分此れより低目に出る事實は著者等の實驗<sup>(3)</sup>の示す所で其理由も肯定しなければならない。

最後に所謂 surging の現象であるが、此實驗では壓縮空氣を volute chamber より直ちに大氣中に放出せしめた爲確然と此の現象を認めることが出來なかつた。（impeller は直線翼式であるから surge point が流量の相當大きい所にある筈である。又 delivery pipe の capacity が surging の現象に非常な effect を與へることもよく知られて居る。）

尙、impeller, diffuser guide vane 及び volute chamber 等の變化による性能に就ては第二報に譲る。

擱筆に當り實驗に際して種々御指導を賜つた富塚教授並びに空氣流量計に就て御便宜を與へ下さつた田中教授に厚く御禮を申上げる。

昭和十年七月 於航空研究所發動機部

- 
- (1) R. S. Capon and 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, 6, 1930.  
 (2) G. V. Brooke: Effect of Fuel Evaporation on Performance of a Centrifugal Supercharger, R.&M. No. 1574. 11 1933.  
 (3) ガソリンに依る過給器性能の變化. 航空彙報 129號 昭和十年五月 345~356 頁  
 (4) Kearton: Turbo-Blowers and Compressors, p. 107.