

## 冷却器の装備法 (第6報)

On the Characteristics of the Radiator System

(Part VI). Niiti Nisiwaki, Nagao Mizumati.

所 員 西 脇 仁 一  
嘱 託 水 町 長 生

## 目 次

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 1. 緒 言                        | 413 |
| 2. 冷却系の通風量並に之に働く抵抗            | 414 |
| 3. 導風路内に於て失はれる損失              | 416 |
| 4. 冷却系の通過風速比, 出口絞り比及び抵抗係数の推定式 | 424 |
| 5. 冷却系の装備効率                   | 425 |
| 5.1 冷却系の抵抗のみを考へた場合            | 425 |
| 5.2 冷却系の重量に基づく抵抗を加算した場合       | 429 |
| 5.2.1 冷却器の所要前面積               | 429 |
| 5.2.2 冷却器の重量                  | 430 |
| 5.2.3 装備効率                    | 432 |
| 6. 結 語                        | 436 |

## 1. 緒 言

各種の冷却器例へば水冷却器, 油冷却器或は給氣冷却器等を飛行機に装備する場合, 装備法としては各種各様の方法が考へられる. 而してその各々の場合について干渉抵抗や放熱量の調整能力等を考慮しなければならないことは勿論あるが, かゝる装備法に於て最も重要な影響を及ぼす基礎的事項について考察する.

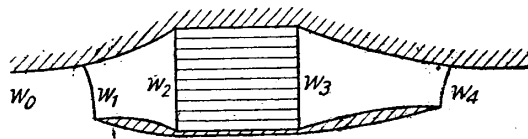
冷却器を導風路内に設ける理由は, 冷却系の出口を絞つて導風路内の流速を落して, 冷却器に入る流速を出来るだけ下げ, 以て冷却器における放熱量當りの損失を出来るだけ少くすると共に, 流れの渦損失を出来るだけ少くすることである. 而して導風路内に於て流速を下げる場合, 導風路内の流れに生ずる色々の損失は出来る限り少くすべきことは勿論であるが, 一般流より流速を下げる以上導風路内に於て若干の損失が生ずるのは止むを得ない. 又冷却器を飛行機に装備した場合は, その時の抵抗と放熱量との間の関係が重要である. 従つて導風路自身の研究も勿論必要であるが, この時流れが導風路内に於て失ふ損失, 冷却器に於て失ふ損失, その時の放熱量及び出口の絞り方等を考慮して初めて最も装備性能の優秀な装備法が求まるわけである.

斯の如く導風路内に於て失はれる損失は装備性能に非常に大きな影響を及ぼすので, これを先づ確實に求めることが必要である. 即ちこの損失を知ることが出来れば, 冷却器の抵抗係数及び出口絞り比が與へられることにより, 計算からその時の冷却系の通風量を求めることが出来, 一方この通風量が分れば, 冷却系に働く抵抗が分り, 更に冷却器の抵抗係数と放熱量との間の関係が分つて居れば, その時の放熱量を知ることが出来る.

本論文に於ては、今迄に行はれたる冷却器の装備法に関する多数の模型実験及び実物実験の結果を利用して、導風路内の損失を表はす一般実験式を作り、この式と共に多数の冷却器について行はれた冷却器に関する実験式を用ひ、装備効率の優秀なる冷却系を得るには、如何なる条件が必要であるかにつき一般的に述べる。

## 2. 冷却系の通風量竝に之に働く抵抗

冷却系の通風量及び之に働く抵抗を求める基礎式については今迄に色々發表されてゐるが、便宜上再びここに掲げる。



第 1 圖

第1圖に示す如き冷却系に於て、壓力を  $p$ 、流速を  $w$ 、密度を  $\rho$ 、導風路の斷面積を  $S$  を以て表はし、各斷面の夫々の値を示すにその場所の番號を附したる脚符を以て表はす。然る時はベルヌーイの式及び連續の式から

$$p_0 + \frac{1}{2} \rho_0 w_0^2 = p_4 + \frac{1}{2} \rho_4 w_4^2 + h \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\rho_2 w_2 S_2 = \rho_4 w_4 S_4 \quad \dots\dots\dots (2)$$

但し  $h$  は冷却系内全部に於て失はれたる損失にして、導風路に於て失はれたる損失  $h_d$  と冷却器に於て失はれたる損失  $h_r$  との和である。即ち

$$h = h_d + h_r \quad \dots\dots\dots (3)$$

而して導風路の損失を表はすに

$$h_d = C_d \frac{\rho_2}{2} w_2^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

とし、 $C_d$  を導風路の損失係數と稱する。

一方、放熱してゐる冷却器前後の壓力降下  $h_r$  は

$$\begin{aligned} h_r &= p_2 - p_3 \\ &= \left\{ \frac{1}{2} \rho_2 \left( \frac{w_2}{f} \right)^2 + \frac{1}{2} \rho_3 \left( \frac{w_3}{f} \right)^2 \right\} \frac{C_w}{2} + \rho_2 \frac{w_2}{f} \left( \frac{w_3}{f} - \frac{w_2}{f} \right) \\ &= \frac{1}{2} \rho_2 w_2^2 \frac{1}{f^2} \left\{ \left( 1 + \frac{a}{2} \right) C_w + 2a \right\} \quad \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

但し

$f$  = 冷却器の空氣通過面積比

$$a = \frac{w_3}{w_2} - 1 = \frac{\rho_2}{\rho_3} - 1$$

$C_w$  = 冷却器の空氣通過抵抗係數

従つて冷却器の見かけの抵抗係數  $C_r$  は

$$C_r = \frac{h_r}{\frac{1}{2} \rho_2 w_2^2} \\ = \frac{1}{f^2} \left\{ \left( 1 + \frac{a}{2} \right) C_w + 2a \right\} \dots \dots \dots (6)$$

となる。

以上の諸式から冷却系の通過風速比  $\varphi = w_2/w_0$  は次のやうに表はされる。

$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{C_d + C_r + (1+a)b_4^2 - a}} \dots \dots \dots (7)$$

茲に  $b_4$  は冷却系の出口絞り比にして  $b_4 = S_2/S_4$  である。

又簡単に放熱前後の密度の變化を無視した場合には  $a=0$  となり、この時の通過風速比  $\varphi$  は

$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{C_d + C_r + b_4^2}} \dots \dots \dots (7)'$$

従つて冷却器の抵抗係數及び出口絞り比が分つて居る場合導風路の損失係數  $C_d$  を知ることにより、(7) 或は (7)' から簡単に通過風速比を求めることが出来る。

一方、冷却系に働く抵抗  $D_0$  は運動量の理論から

$$D_0 = \rho_2 w_2 S_2 (w_0 - w_4) \dots \dots \dots (8)$$

となる。従つて冷却系全體の抵抗係數  $C_x$  は

$$C_x = \frac{D_0}{\frac{1}{2} \rho_0 w_0^2 S_2} \\ = 2\varphi \{ 1 - (1+a)b_4\varphi \} \dots \dots \dots (9)$$

或は放熱前後の密度の變化を無視すれば

$$C_x = 2\varphi(1 - b_4\varphi) \dots \dots \dots (9)'$$

となり、冷却器の代りに金網等を用いた場合はこれに相當する。

抵抗係數(9)及(9)'の兩式は冷却系の出口に於て大氣壓となり、冷却器覆の外側の流れに於て損失がない場合であるが、實際の場合にこの條件が完全に満足されることはなく、従つて(9)或は(9)'に従つて計算した値が實際の値と完全に一致することは望むべくもない。然し冷却系に働く抵抗の大部分は冷却系の内側の流れによる抵抗であつて、冷却系の外側に於ては、主として摩擦抵抗のみ働くと考へることが出来、實驗結果によると、冷却系の出口に於ても通常の裝備狀態に於ては大氣壓と考へて差支へないやうである。これに關しては前報<sup>(1)</sup>に於て詳述した所であるが、今實驗から求めた抵抗係數と、その時の通過風速比及び出口絞り比から(9)'に従つて計算した抵抗係數との比較を第2圖に示す。實線は實驗から直接測定した抵抗係數で、點線は實驗から求めた通過風速比を用ひ、(9)'から計算により出した値である。同圖に於て實驗値と計算値とが可成り相違してゐる場合は、冷却系のフラツプを大きく開いた場合とか、極端に狭く閉じた場合とか外側の流れに剝離が生じたり或は出口に負壓が作用してゐる場合であつて、通常の裝備狀態に於ては實驗値と計算値とは可成りよく

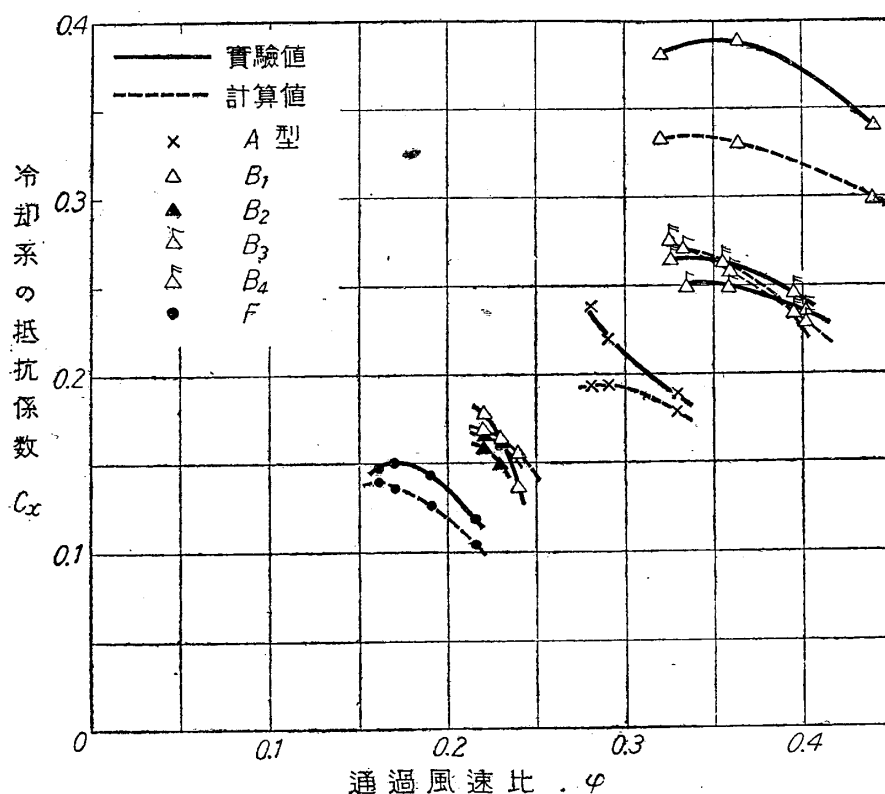
(1) 冷却器の裝備法 (第一報); 航研報告, 第221號, 昭和16年11月.  
" " (第二報); 航研報告, 第232號, 昭和17年6月.

一致してゐる。かゝる場合には通過風速比さへ分れば、後は計算から出して大して不都合はないものと考えられる。従つて通過風速比を知ることが先決問題となる。

一方、通過風速比は(7)或は(7)'により與へられる。即ちこれらの式に於て導風路の損失係数  $C_a$ 、冷却器の抵抗係数  $C_r$  及び出口絞り比  $b_4$  が分れば容易に通過風速比  $\varphi$  を求めることが出来る。然るに冷却器の抵抗係数  $C_r$  及び出口絞り比  $b_4$  は與へられるから分るが、導風路の損失係数が容易に分らない。問題は如何にして導風路の損失係数を推定するかといふことに歸着する。

### 3. 導風路内にて失はれる損失

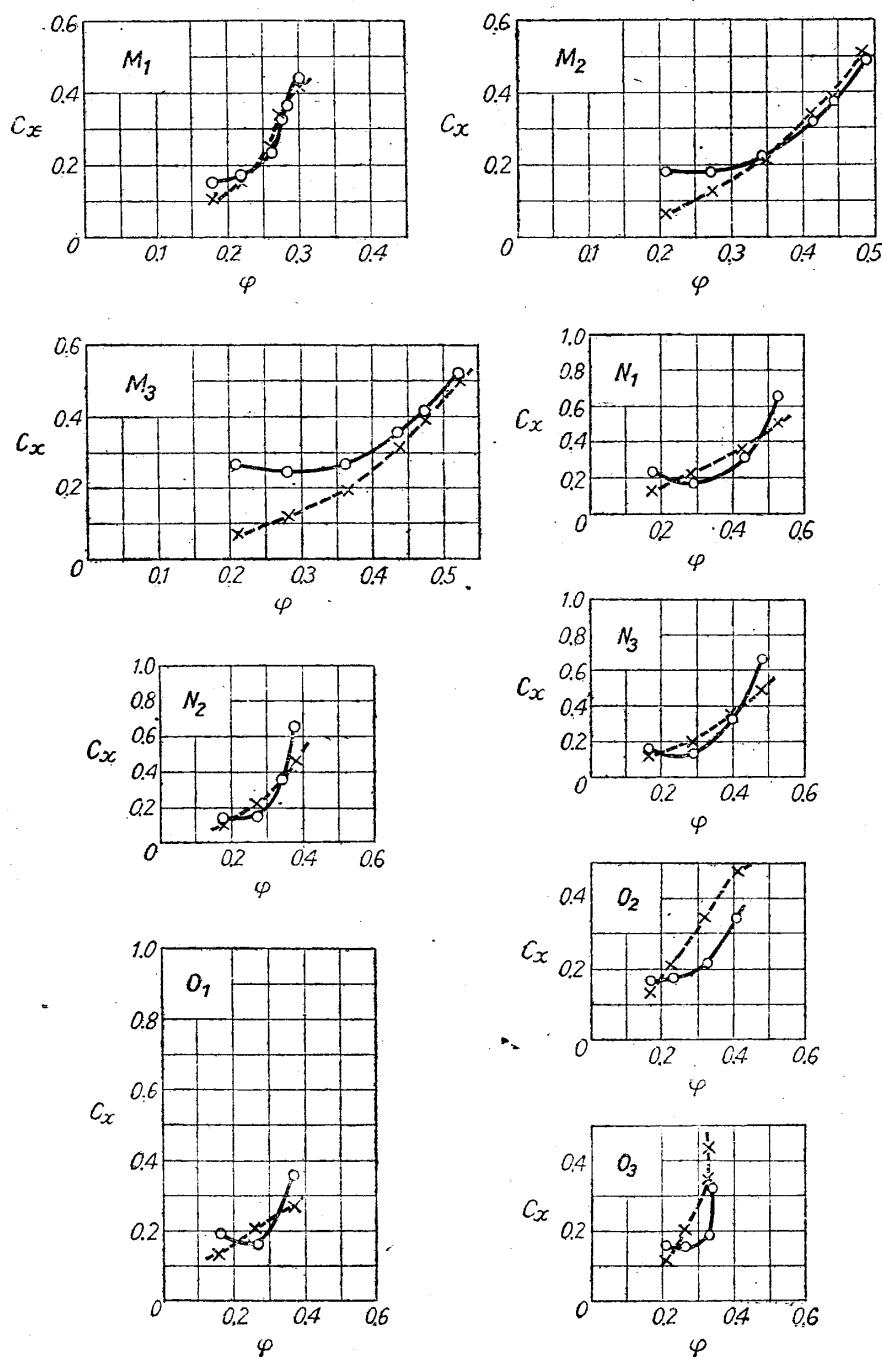
然らば導風路内の損失とは如何なるものであるか。導風路内の損失は、これを二つに分けて、冷却器前にて失はれる損失と冷却器後にて失はれる損失とになる。冷却器前の流れは、一般流の流速から冷却器前の流速迄流速は減少するから、壓力は次第に上昇し、流線は擴がる如き流れとなる。この様な流れでは一般に損失が大きく、その主要なるものは所謂「擴がり損失」で、更にその他に摩擦損失がある。冷却器後の流れは、冷却器後の壓力から大氣壓



第2圖 冷却系の抵抗係数(その一)

迄膨脹し流速は増大し、流線は狭くなる如き流れである。斯の如き流れでは損失は非常に小さく、主として摩擦損失のみと考へて差支へない。即ち導風路内にて失はれる損失は、冷却器前の擴がり損失と摩擦損失及び冷却器後の摩擦損失となる。

従つて導風路内にて失はれる損失  $h$  は次のやうに表はすことが出来る。



第 2 圖 (その二)

$$h = \xi_1 \frac{\rho}{2} (w_0 - w_2)^2 + \xi_2 \frac{l_{12}}{d_{12}} \frac{\rho}{2} \frac{w_1^2 + w_2^2}{2} + \xi_3 \frac{l_{34}}{d_{34}} \frac{\rho}{2} \frac{w_3^2 + w_4^2}{2} \dots \dots \dots (10)$$

上式に於て第一項は冷却器前の擴がり損失を表はし、第二項は冷却器前の導風路の摩擦損失、第三項は冷却器後の導風路の摩擦損失を表はす。即ち  $\xi_1$  は擴がり損失係數、 $\xi_2$ 、 $\xi_3$  は摩擦損失係數と稱せられるものである。 $l_{12}$  は冷却器前の導風路の長さ、 $d_{12}$  は冷却器前の導

風路の平均水力直径で、 $l_{34}$  及び  $d_{34}$  は同じく冷却器後の導風路の夫々の値である。

(10) 式を連続の式を用ひて變形すれば

$$h = \xi_1 \frac{\rho}{2} w_2^2 \left( \frac{1}{\varphi} - 1 \right)^2 + \xi_2 \frac{\rho}{2} w_2^2 \frac{l_{12}}{d_2} \cdot \frac{b_1^2 + 1}{1/\sqrt{b_1} + 1} + \xi_3 \frac{\rho}{2} w_2^2 \frac{l_{34}}{d_2} \frac{b_4^2 + 1}{1/\sqrt{b_4} + 1} \dots (10)'$$

但し

$$\varphi = \frac{w_2}{w_0}, \quad b_1 = \frac{S_2}{S_1}, \quad b_4 = \frac{S_2}{S_4}$$

$d_2$  = 冷却器装着部の導風路の水力直径

である。従つて (4) 式にて表はされる導風路の損失係数  $C_d$  は次のやうになる。

$$C_d = \frac{h}{\frac{1}{2} \rho w_2^2} = \xi_1 \left( \frac{1}{\varphi} - 1 \right)^2 + \xi_2 \frac{l_{12}}{d_2} \frac{b_1^2 + 1}{1/\sqrt{b_1} + 1} + \xi_3 \frac{l_{34}}{d_2} \frac{b_4^2 + 1}{1/\sqrt{b_4} + 1} \dots (11)$$

導風路の損失係数  $C_d$  は擴がり損失に基づくものと摩擦損失に基づくものととの和であるから、その中擴がり損失に基づく損失係数を  $C_{d,\varphi}$  とすれば

$$C_{d,\varphi} = C_d - \left( \xi_2 \frac{l_{12}}{d_2} \frac{b_1^2 + 1}{1/\sqrt{b_1} + 1} + \xi_3 \frac{l_{34}}{d_2} \frac{b_4^2 + 1}{1/\sqrt{b_4} + 1} \right) \dots (12)$$

又

$$C_{d,\varphi} = \xi_1 \left( \frac{1}{\varphi} - 1 \right)^2 \dots (12)'$$

扱て、實際に導風路内にて失はれる損失が如何なるものであるかを見るために、實驗結果から損失を出してみる。實驗に用ひた模型或は實物機の裝備状態は第3圖に示す、又冷却系の主要寸法及び測定結果を第1表に示す。

實驗から通過風速比、冷却器の抵抗係数及び出口絞り比  $b_4$  が分るから、(7)' 式を用ふることにより逆にその時の導風路の損失係数  $C_d$  を求めることが出来る。一方、冷却器装着部の導風路のレイノルツ数  $R_e$  は  $R_e = 2.1 \times 10^4 \sim 4.7 \times 10^5$  であつて、この時の摩擦損失係数  $\xi_2, \xi_3$  は 0.025~0.030 の範圍にある。今  $\xi_2 = \xi_3 = 0.03$  として (12) 式から  $C_{d,\varphi}$  を求めると第4圖の如くなる。一方、(12)' 式に於て  $\xi_1 = 0.6$  とおけば同圖の實線の如くなり、同曲線は大體に於て實驗結果と一致する。

之を要するに、導風路内に於て失はれる損失は擴がり損失と摩擦損失とに分けて考へるこ

(1) A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub> C, D, E 型: 川崎航空研究録, 第4巻, 第1號, 昭和18年2月

F 型: 未發表

G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>, I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> 型: 航空研究所報告, 第279號, 昭和19年1月

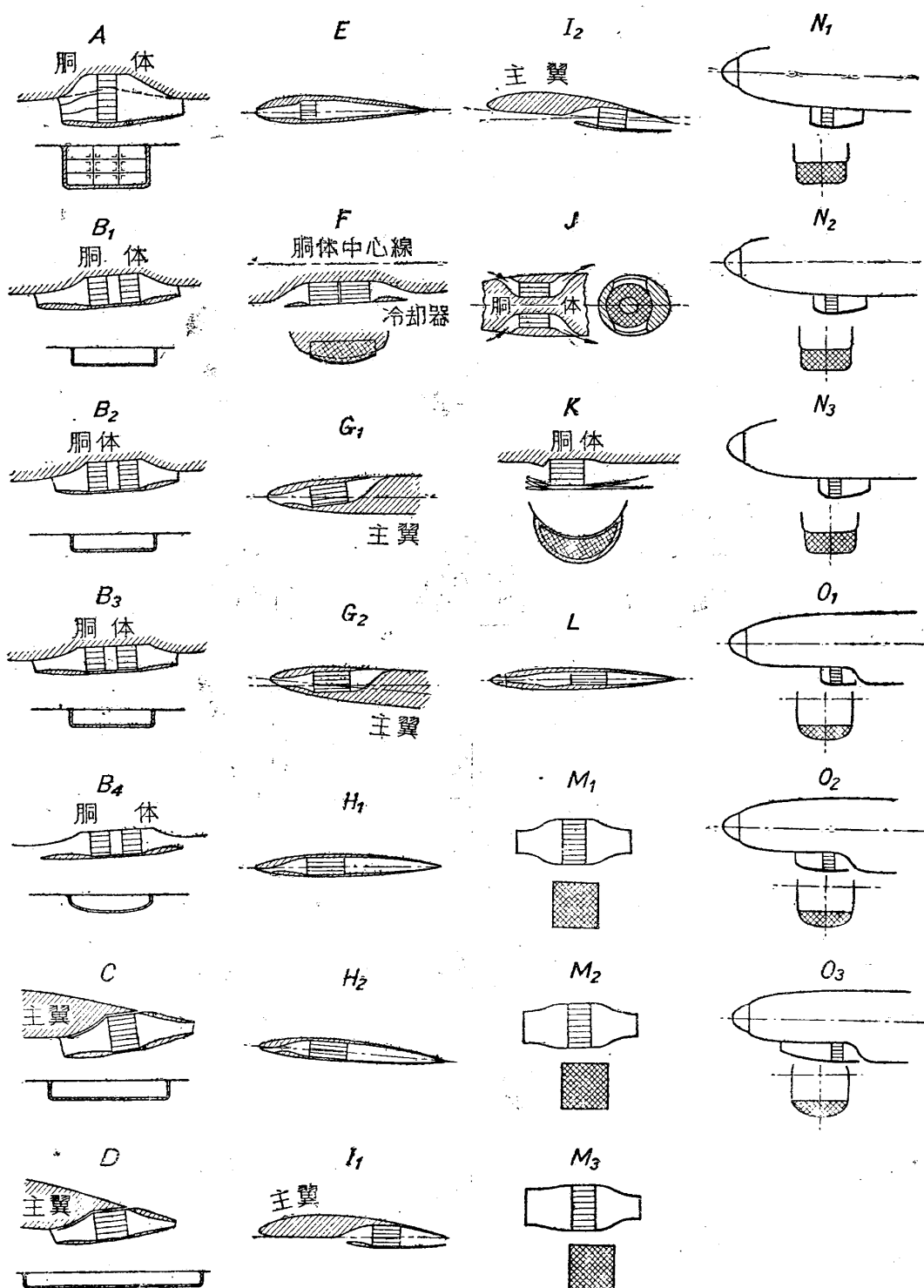
J 型: 航空研究所報告, 第278號, 昭和19年1月

K 型: 航空研究所報告, 第248號, 昭和17年12月

L 型: 未發表

M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> 型: 海軍航空技術廠研究實驗成績報告, 第2313號

N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub> O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub> O<sub>3</sub> 型: 愛知時計電機株式會社報告, 昭和15年5月



第 3 圖

とが出来、而してかかる如き冷却器の装備法に於ては、擴がり損失係数  $\xi_1=0.6$ 、摩擦損失係数  $\xi_2=\xi_3=0.03$  とおいて差支へないことが分る。従つて導風路の損失係数  $C_d$  は次の如く表はされる。

$$C_d = 0.6 \left( \frac{1}{\varphi} - 1 \right)^2 + 0.03 \left( \frac{l_{12}}{d_2} \frac{b_1^2 + 1}{1/\sqrt{b_1} + 1} + \frac{l_{34}}{d_2} \frac{b_4^2 + 1}{1/\sqrt{b_4} + 1} \right) \dots \dots \dots (13)$$

上式から分る如く、通常の装備状態に於ては摩擦損失は擴がり損失の 1/10 以下であつて、普通は擴がり損失のみと考へて差支へないやうである。

或は又實驗から求めた  $C_d$  と  $\varphi$  との關係を描けば第 5 圖の如くなり、何れの模型に於ても大體に於て同一の傾向を持つやうに思はれる。これから直接に  $C_d$  と  $\varphi$  との實驗式を求むれば

$$C_d = 0.755 \frac{1}{\varphi^2} - 1.492 \frac{1}{\varphi} - 0.406 \dots \dots \dots (13)'$$

第 1 表 模型の主要寸法及び測定結果 (その一)

| 型 式   | 入 口<br>絞 り 比<br>$b_1$ | 出 口<br>絞 り 比<br>$b_4$ | 導 風 路<br>入 口 長 さ<br>$l_{12}$ cm | 導 風 路<br>出 口 長 さ<br>$l_{34}$ cm | 冷 却 器 部<br>水 力 直 徑<br>$d_2$ cm | レ イ ノ<br>ズ 数<br>$Re$ | 冷 却 器 の<br>抵 抗 係 数<br>$C_r$ | 通 過<br>風 速 比<br>$\varphi$ | 導 風 路<br>損 失 係 数<br>$C_d$ |
|-------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| A     | 1.76                  | 2.37                  | 17.5                            | 26.1                            | 29.4                           | $2.6 \times 10^5$    | 1.26                        | 0.326                     | 2.53                      |
|       | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $2.5 \times 10^5$    | 3.13                        | 0.290                     | 3.14                      |
|       | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $2.3 \times 10^5$    | 5.00                        | 0.280                     | 2.14                      |
|       | "                     | 1.26                  | "                               | "                               | "                              | $4.7 \times 10^5$    | 1.26                        | 0.582                     | 0.11                      |
|       | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $3.8 \times 10^5$    | 3.13                        | 0.473                     | 0                         |
| $B_1$ | 2.13                  | 2.81                  | 25.6                            | 16.9                            | 20.7                           | $1.4 \times 10^5$    | 2.04                        | 0.240                     | 7.42                      |
|       | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $1.3 \times 10^5$    | 3.91                        | 0.230                     | 7.09                      |
|       | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $1.2 \times 10^5$    | 5.78                        | 0.220                     | 6.98                      |
|       | "                     | 1.50                  | "                               | "                               | "                              | $2.5 \times 10^5$    | 2.04                        | 0.440                     | 0.88                      |
|       | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $2.1 \times 10^5$    | 3.91                        | 0.363                     | 1.47                      |
| $B_2$ | 2.02                  | 2.81                  | 18.8                            | 16.9                            | 20.7                           | $1.3 \times 10^5$    | 3.91                        | 0.230                     | 7.09                      |
|       | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $1.2 \times 10^5$    | 5.78                        | 0.220                     | 6.98                      |
| $B_3$ | 1.77                  | 1.78                  | 18.8                            | 16.9                            | 18.4                           | $2.0 \times 10^5$    | 2.04                        | 0.402                     | 0.98                      |
|       | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $1.8 \times 10^5$    | 3.91                        | 0.358                     | 0.72                      |
|       | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $1.7 \times 10^5$    | 5.78                        | 0.334                     | 0.01                      |
| $B_4$ | 1.77                  | 1.78                  | 18.8                            | 16.9                            | 18.4                           | $2.0 \times 10^5$    | 2.04                        | 0.395                     | 1.20                      |
|       | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $1.8 \times 10^5$    | 3.91                        | 0.355                     | 0.86                      |
|       | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $1.6 \times 10^5$    | 5.78                        | 0.325                     | 0.52                      |
| C     | 2.49                  | 3.47                  | 17.15                           | 18.15                           | 18.6                           | $1.3 \times 10^5$    | 1.26                        | 0.251                     | 2.57                      |
|       | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $1.1 \times 10^5$    | 3.13                        | 0.220                     | 5.49                      |
|       | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $1.1 \times 10^5$    | 5.00                        | 0.208                     | 6.06                      |

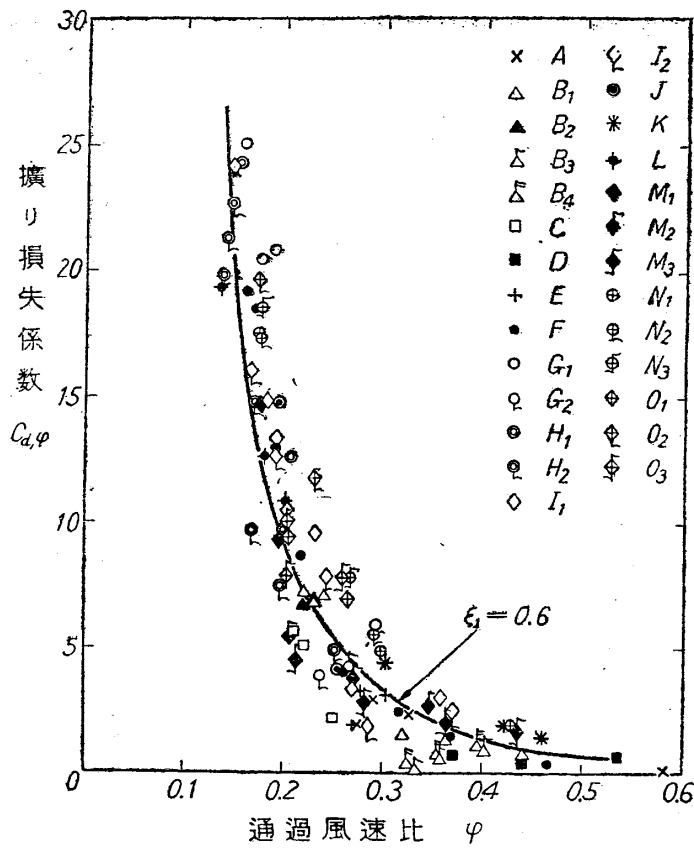


第 1 表 模型の主要寸法及び測定結果 (その二)

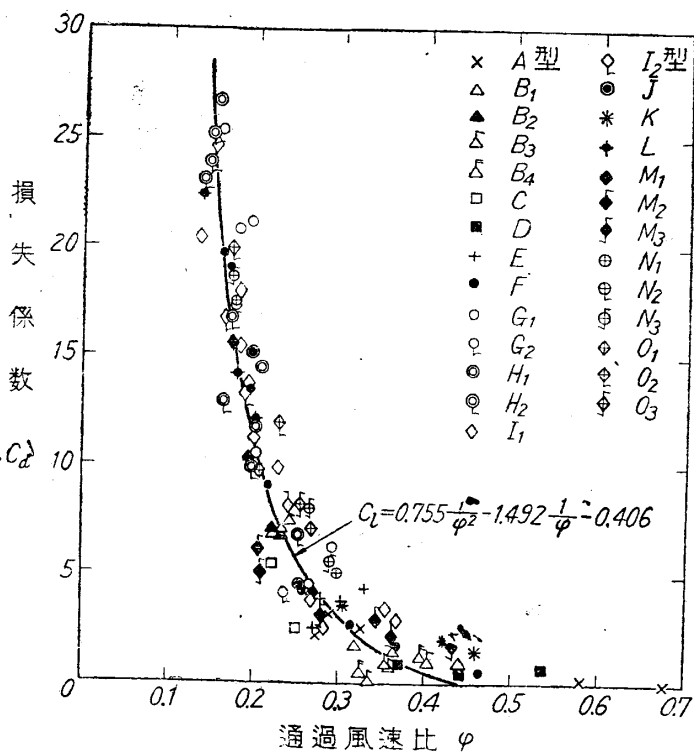
| 型 式            | 入 口<br>絞 り 比<br>$b_1$ | 出 口<br>絞 り 比<br>$b_4$ | 導 風 路<br>入 口 長 さ<br>$l_{12}$ cm | 導 風 路<br>出 口 長 さ<br>$l_{34}$ cm | 冷 却 器 部<br>水 力 直 径<br>$d_2$ cm | レ イ ノ<br>ヅ 数<br>$Re$ | 冷 却 器 の<br>抵 抗 係 数<br>$Cr$ | 通 過<br>風 速 比<br>$\varphi$ | 導 風 路<br>損 失 係 数<br>$Ca$ |
|----------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| D              | 2.37                  | 1.21                  | 11.53                           | 13.00                           | 13.5                           | $2.0 \times 10^5$    | 1.26                       | 0.535                     | 0.77                     |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $1.6 \times 10^5$    | 3.13                       | 0.440                     | 0.58                     |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $1.4 \times 10^5$    | 5.00                       | 0.370                     | 0.85                     |
| E              | 3.11                  | 2.43                  | 41.00                           | 23.00                           | 18.1                           | $1.5 \times 10^5$    | 1.26                       | 0.303                     | 3.73                     |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $1.4 \times 10^5$    | 3.13                       | 0.278                     | 3.91                     |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $1.4 \times 10^5$    | 5.00                       | 0.273                     | 2.52                     |
| F              | 3.02                  | 3.51                  | 6.05                            | 9.40                            | 7.96                           | $4.7 \times 10^4$    | 0                          | 0.216                     | 9.11                     |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $4.7 \times 10^4$    | 1.65                       | 0.191                     | 13.44                    |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $3.7 \times 10^4$    | 3.30                       | 0.170                     | 18.98                    |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $3.5 \times 10^4$    | 6.60                       | 0.161                     | 19.66                    |
|                | "                     | 2.01                  | "                               | "                               | "                              | $1.0 \times 10^5$    | 0                          | 0.465                     | 0.59                     |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $8.0 \times 10^4$    | 1.65                       | 0.367                     | 1.73                     |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $6.9 \times 10^4$    | 3.30                       | 0.316                     | 2.67                     |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $5.7 \times 10^4$    | 6.60                       | 0.259                     | 4.27                     |
| G <sub>1</sub> | 2.19                  | 2.33                  | 8.0                             | 6.4                             | 6.54                           | $2.1 \times 10^4$    | 9.30                       | 0.158                     | 25.33                    |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $2.4 \times 10^4$    | 4.69                       | 0.180                     | 20.74                    |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $2.6 \times 10^4$    | 0                          | 0.194                     | 21.14                    |
| G <sub>2</sub> | 2.19                  | 2.33                  | 8.0                             | 6.4                             | 6.54                           | $3.2 \times 10^4$    | 8.20                       | 0.237                     | 4.17                     |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $3.6 \times 10^4$    | 4.09                       | 0.267                     | 4.51                     |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $3.9 \times 10^4$    | 0                          | 0.293                     | 6.22                     |
| H <sub>1</sub> | 4.50                  | 3.00                  | 20.0                            | 30.0                            | 7.82                           | $3.3 \times 10^4$    | 0                          | 0.207                     | 14.45                    |
|                | "                     | 4.00                  | "                               | "                               | "                              | $2.5 \times 10^4$    | "                          | 0.153                     | 26.77                    |
| H <sub>2</sub> | 4.50                  | 3.00                  | 20.0                            | 30.0                            | 7.82                           | $2.7 \times 10^4$    | 9.10                       | 0.170                     | 16.71                    |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $3.2 \times 10^4$    | 4.42                       | 0.200                     | 11.63                    |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $4.0 \times 10^4$    | 0                          | 0.251                     | 6.82                     |
|                | "                     | 4.00                  | "                               | "                               | "                              | $2.3 \times 10^4$    | 9.66                       | 0.142                     | 23.80                    |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $2.4 \times 10^4$    | 4.87                       | 0.147                     | 25.15                    |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $3.2 \times 10^4$    | 0                          | 0.196                     | 9.93                     |
|                | "                     | 5.00                  | "                               | "                               | "                              | $2.2 \times 10^4$    | 4.89                       | 0.137                     | 23.08                    |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $2.6 \times 10^4$    | 0                          | 0.162                     | 12.97                    |
| I <sub>1</sub> | 2.75                  | 2.20                  | 20.0                            | 32.0                            | 18.0                           | $5.9 \times 10^4$    | 9.30                       | 0.191                     | 13.77                    |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $7.1 \times 10^4$    | 4.50                       | 0.230                     | 9.97                     |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $1.1 \times 10^5$    | 0                          | 0.357                     | 3.44                     |
|                | "                     | 3.14                  | "                               | "                               | "                              | $4.6 \times 10^4$    | 10.05                      | 0.150                     | 24.77                    |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $5.6 \times 10^4$    | 4.82                       | 0.182                     | 15.48                    |
|                | "                     | "                     | "                               | "                               | "                              | $8.3 \times 10^4$    | 0                          | 0.269                     | 3.98                     |

第1表 模型の主要寸法及び測定結果(その三)

| 型 式   | 入 口<br>絞 り 比<br>$b_1$ | 出 口<br>絞 り 比<br>$b_4$ | 導 風 路<br>入 口 長 さ<br>$l_{12}\text{cm}$ | 導 風 路<br>出 口 長 さ<br>$l_{34}\text{cm}$ | 冷 却 器 部<br>水 力 直 径<br>$d_2\text{cm}$ | レ イ ノ<br>ル ヅ 数<br>$Re$ | 冷 却 器 の<br>抵 抗 係 数<br>$C_i$ | 通 過<br>風 速 比<br>$\varphi$ | 導 風 路<br>損 失 係 数<br>$C_d$ |
|-------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| $I_2$ | 2.75                  | 2.20                  | 20.0                                  | 32.0                                  | 18.0                                 | $6.2 \times 10^4$      | 9.13                        | 0.201                     | 11.27                     |
|       | "                     | "                     | "                                     | "                                     | "                                    | $7.5 \times 10^4$      | 4.42                        | 0.242                     | 8.21                      |
|       | "                     | "                     | "                                     | "                                     | "                                    | $1.1 \times 10^5$      | 0                           | 0.369                     | 2.95                      |
|       | "                     | 3.14                  | "                                     | "                                     | "                                    | $5.1 \times 10^4$      | 9.76                        | 0.166                     | 16.66                     |
|       | "                     | "                     | "                                     | "                                     | 18.1                                 | $5.8 \times 10^4$      | 4.77                        | 0.189                     | 13.33                     |
|       | "                     | "                     | "                                     | "                                     | "                                    | $8.8 \times 10^4$      | 0                           | 0.284                     | 2.53                      |
| $J$   | 1.73                  | 2.58                  | 18.0                                  | 24.0                                  | 15.0                                 | $4.0 \times 10^4$      | 5.09                        | 0.193                     | 15.12                     |
|       | "                     | "                     | "                                     | "                                     | "                                    | $6.5 \times 10^4$      | 4.36                        | 0.254                     | 4.50                      |
| $K$   | 0.87                  | 1.23                  | 25.8                                  | 81.5                                  | 29.6                                 | $3.7 \times 10^5$      | 2.76                        | 0.460                     | 2.16                      |
|       | 1.08                  | 1.38                  | 27.5                                  | 52.8                                  | "                                    | $3.4 \times 10^5$      | "                           | 0.425                     | 0.88                      |
|       | 1.69                  | 2.13                  | 28.5                                  | 74.4                                  | "                                    | $2.4 \times 10^5$      | "                           | 0.302                     | 3.66                      |
| $L$   | 3.00                  | 2.14                  | 80.0                                  | 80.0                                  | 19.4                                 | $6.7 \times 10^4$      | 8.14                        | 0.201                     | 10.02                     |
|       | "                     | 2.89                  | "                                     | "                                     | "                                    | $6.0 \times 10^4$      | 8.42                        | 0.180                     | 14.12                     |
|       | "                     | 5.00                  | "                                     | "                                     | "                                    | $4.5 \times 10^4$      | 7.45                        | 0.135                     | 22.40                     |
| $M_1$ | 4.00                  | 4.00                  | —                                     | —                                     | —                                    | —                      | 1.41                        | 0.174                     | 15.62                     |
|       | "                     | "                     | —                                     | —                                     | —                                    | —                      | 0.61                        | 0.193                     | 10.21                     |
| $M_2$ | 2.00                  | 4.00                  | —                                     | —                                     | —                                    | —                      | 1.41                        | 0.206                     | 6.13                      |
|       | "                     | 2.86                  | —                                     | —                                     | —                                    | —                      | "                           | 0.269                     | 4.25                      |
|       | "                     | 2.00                  | —                                     | —                                     | —                                    | —                      | "                           | 0.345                     | 2.99                      |
| $M_3$ | 1.43                  | 4.00                  | —                                     | —                                     | —                                    | —                      | 1.41                        | 0.211                     | 5.05                      |
|       | "                     | 2.86                  | —                                     | —                                     | —                                    | —                      | "                           | 0.281                     | 3.10                      |
|       | "                     | 2.00                  | —                                     | —                                     | —                                    | —                      | "                           | 0.363                     | 2.18                      |
|       | "                     | 1.43                  | —                                     | —                                     | —                                    | —                      | "                           | 0.435                     | 1.85                      |
| $N_1$ | 1.21                  | 3.17                  | 4.45                                  | 13.6                                  | 12.0                                 | $4.4 \times 10^4$      | 1.50                        | 0.175                     | 17.42                     |
|       | "                     | 2.13                  | "                                     | "                                     | "                                    | $7.5 \times 10^4$      | "                           | 0.298                     | 5.04                      |
|       | "                     | 1.39                  | "                                     | "                                     | "                                    | $1.1 \times 10^5$      | "                           | 0.429                     | 2.00                      |
| $N_2$ | 1.51                  | 3.71                  | 4.45                                  | 13.6                                  | 12.0                                 | $4.4 \times 10^4$      | 1.50                        | 0.175                     | 17.42                     |
|       | "                     | 2.13                  | "                                     | "                                     | "                                    | $7.3 \times 10^4$      | "                           | 0.290                     | 5.67                      |
| $N_3$ | 1.96                  | 3.71                  | 4.45                                  | 13.6                                  | 12.0                                 | $4.4 \times 10^4$      | 1.50                        | 0.172                     | 18.58                     |
|       | "                     | 2.13                  | "                                     | "                                     | "                                    | $6.7 \times 10^4$      | "                           | 0.265                     | 8.02                      |
| $O_1$ | 1.51                  | 3.57                  | 3.75                                  | 9.8                                   | 11.7                                 | $5.0 \times 10^4$      | 1.50                        | 0.204                     | 9.77                      |
|       | "                     | 2.33                  | "                                     | "                                     | "                                    | $6.6 \times 10^4$      | "                           | 0.267                     | 7.12                      |
| $O_2$ | 1.51                  | 3.57                  | 8.1                                   | 9.8                                   | 11.7                                 | $4.2 \times 10^4$      | 1.50                        | 0.171                     | 19.94                     |
|       | "                     | 2.33                  | "                                     | "                                     | "                                    | $5.7 \times 10^4$      | "                           | 0.230                     | 11.99                     |
| $O_3$ | 2.17                  | 3.57                  | 21.2                                  | 9.8                                   | 11.7                                 | $4.9 \times 10^4$      | 1.50                        | 0.201                     | 10.49                     |
|       | "                     | 2.33                  | "                                     | "                                     | "                                    | $6.3 \times 10^4$      | "                           | 0.257                     | 8.23                      |



第4圖 擴り損失係數



第 5 圖

を得る。實用上は導風路の損失係数として(13)'式を用ひて差支へない。

#### 4. 冷却系の通過風速比, 出口絞り比及び抵抗係数の推定式

導風路の損失係数  $C_d$  と通過風速比  $\varphi$  との間に上式の如き簡単な関係があることが分れば, これから冷却系の通過風速比を容易に推定することが出来る。即ち(13)'式と(7)式から次式を得る。

$$\varphi = \frac{0.746 + \sqrt{0.5563 + 0.245\{(1+a)b_4^2 + C_r - a - 0.406\}}}{(1+a)b_4^2 + C_r - a - 0.406} \dots\dots\dots (14)$$

但し冷却器の見かけの抵抗係数  $C_r$  は

$$C_r = \frac{1}{f^2} \left\{ \left(1 + \frac{a}{2}\right) C_w + 2a \right\} \dots\dots\dots (6)$$

である。簡単に放熱前後の密度の変化を無視した場合には(冷却器の代用として金網等を使用した場合に相當する),  $a=0$  として

$$\varphi = \frac{0.746 + \sqrt{0.5563 + 0.245(b_4^2 + C_r - 0.406)}}{b_4^2 + C_r - 0.406} \dots\dots\dots (14)'$$

この時の冷却器の見かけの抵抗係数は

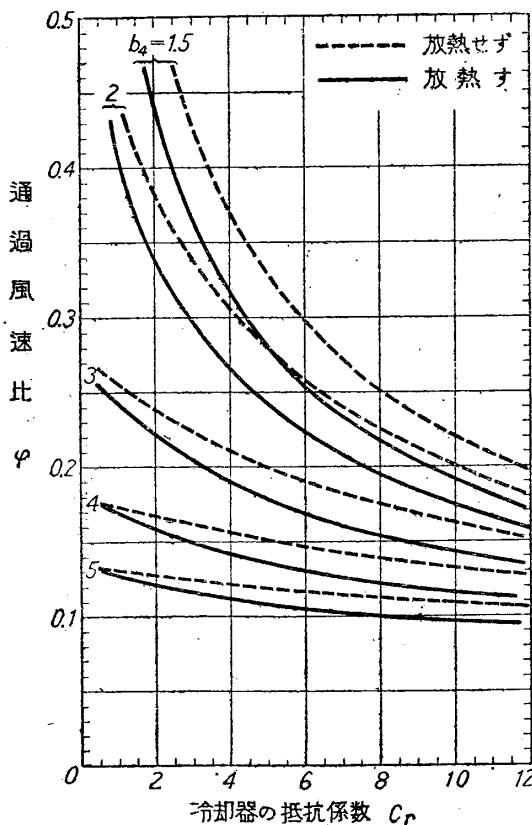
$$C_r = \frac{1}{f^2} C_w \dots\dots\dots (6)'$$

となる。冷却器の抵抗係数と温度上昇率との間に後述する如き関係がある場合につき、(6)及び(14)を用ひて通過風速比を求むれば、第6圖の實線の如くなる。同圖の點線は放熱による密度変化を無視せる場合或は放熱せざる冷却器にして、同圖から分る如く放熱すれば放熱せざる場合に比し通過風速比は減少する。

或は又、冷却器の抵抗係数  $C_r$  と通過風速比  $\varphi$  が與へられる時は、それに必要な出口絞り比  $b_4$  は次式にて與へられる。

$$b_4 = \sqrt{\frac{0.245 \frac{1}{\varphi^2} + 1.492 \frac{1}{\varphi} + 0.406 - C_r + a}{1+a}} \dots\dots\dots (15)$$

これを圖示すれば第7圖の如くなる。



第6圖 通過風速比

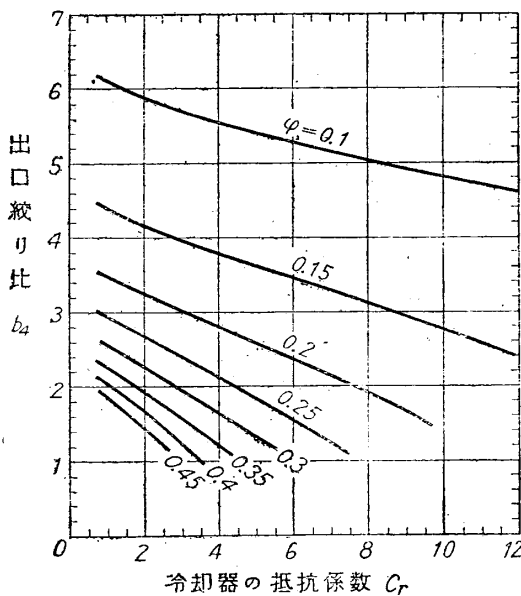
放熱した場合の條件；冷却空氣（冷却器入口にて）の温度  $15^{\circ}\text{C}$ ，壓力 760 mm Hg 冷却器の作用温度  $100^{\circ}\text{C}$

(1) 5. 冷却系の裝備效率を参照

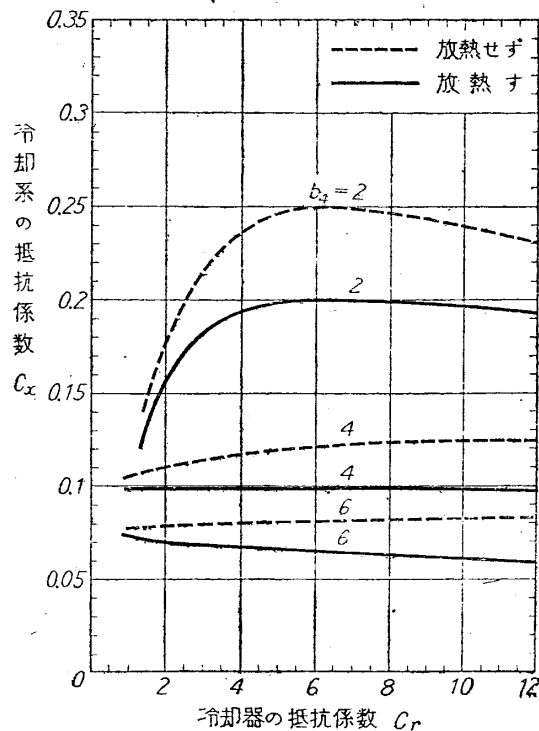
又(14)或は(15)を用ひ、(9)或は(9)'から冷却系全体の抵抗係数  $C_x$  を求めることが出来る。第8圖にこれを示す。同圖の實線は放熱せる場合で、點線は放熱せざる場合である。放熱せる場合は、前述せる如く通過風速比が減少し、従つて抵抗係数は放熱せざる場合に比し減少してゐる。これが所謂放熱によるロケット効果である。

## 5. 冷却系の装備効率

導風路内に冷却器を装備した時、如何なる條件を満足するものが最も優秀な装備法であるかは、飛行機の性能上からは勿論のこと、放熱量の調整能力、冷却器の大きさ、重量等あらゆる方面から検討しなければならないのであるが、単位時間内に或一定量の熱量を放散する場合、この冷却のために消費される馬力が小さいと云ふことは、冷却器の装備法の優秀性を示す一つの有力なる指標なることは明らかである。然らば放熱馬力當りの抵抗馬力が最も少なくなるやうに装備するには、如何なる條件を満足すべきかを求めてみる。而して抵抗馬力としては、冷却系の抵抗のために消費される馬力と冷却系全体の重量の増加に基づく抵抗のために消費される馬力とに分けられる。従つて冷却系の抵抗のために消費される馬力のみを考へた場合と、更にこれに重量に基づく抵抗馬力を加算した場合とに分けて考へる。



第7圖 出口絞り比



第8圖 冷却系の抵抗係数  
放熱した場合の條件；冷却空氣（冷却器入口にて）溫度 15°C，壓力 760mm Hg 冷却器の作用溫度 100°C

### 5.1 冷却系の抵抗のみを考へた場合

冷却系の抵抗馬力  $P_0$  は次のやうになる。

$$P_0 = 1/2 \rho w_0^2 \cdot C_x \cdot S_2 \cdot w_0 \times 1/75$$

而して抵抗係数  $C_x$  は(9)或は(9)'により與へられるから

$$P_0 = 1/2 \rho_0 w_0^2 \cdot 2\phi \{1 - (1 + a)b_2\phi\} \cdot S_2 \cdot w_0 \times 1/75 \dots \dots \dots (16)$$

一方、放熱馬力  $Q$  は

$$Q = \rho_0 g \cdot w_2 \cdot S_2 \cdot C_p \cdot \theta \cdot \eta_{th} \times 5.691 \dots \dots \dots (17)$$

但し

$C_p$  = 空気の定圧比熱

$\theta$  = 冷却器の平均温度と冷却器入口における冷却空気の温度との温度差

$\eta_{th}$  = 冷却器の温度上昇率

$$= \frac{\text{冷却器前後における冷却空気の温度上昇}}{\text{冷却器の平均温度と冷却器入口における冷却空気の温度との温度差}}$$

従つて冷却系の抵抗のみを考へた場合の装備効率  $\eta_0$  は次のやうになる。

$$\begin{aligned} \frac{1}{\eta_0} &= \frac{\text{抵抗馬力}}{\text{放熱馬力}} \\ &= \frac{P_0}{Q} \\ &= \frac{\frac{1}{2} \rho_0 w_0^2 \cdot 2\varphi \{1 - (1+a)b_4\varphi\} \cdot S_2 \cdot w_0 \times \frac{1}{75}}{\rho_0 g \cdot w_2 \cdot S_2 \cdot C_p \cdot \theta \cdot \eta_{th} \times 5.691} \\ &= \frac{1 - (1+a)b_4\varphi}{\eta_{th}} \cdot \frac{w_0^2}{C_p \cdot \theta} \cdot \frac{1}{427 \cdot g} \dots \dots \dots (18) \end{aligned}$$

即ち  $1/\eta_0$  が小さい程装備効率はよくなる。

今  $w_0, C_p, \theta$  が一定なる場合を考へれば、結局  $\frac{1 - (1+a)b_4\varphi}{\eta_{th}}$  の大小を論ずればよい。これを  $A_0$  とおく。

$$A_0 = \frac{1 - (1+a)b_4\varphi}{\eta_{th}} \dots \dots \dots (19)$$

従つて  $A_0$  が小さい程、装備効率はよいことになる。

先きに實驗から求めた (14)' 及び (15) を (19) に代入すれば

$$A_0 = \frac{1}{\eta_{th}} \left\{ 1 - (1+a)b_4 \cdot \frac{0.746 + \sqrt{0.5563 + 0.245 \{ (1+a)b_4^2 + C_r - a - 0.406 \}}}{(1+a)b_4^2 + C_r - a - 0.406} \right\} \dots \dots \dots (20)$$

$$= \frac{1}{\eta_{th}} \left\{ 1 - \sqrt{(1+a) \{ 0.245 + 1.492\varphi + (0.406 - C_r + a)\varphi^2 \}} \right\} \dots \dots \dots (20)'$$

而して冷却器の見かけの抵抗係数  $C_r$  は (6) 式にて與へられる。従つて冷却器の温度上昇率  $\eta_{th}$  と冷却器の空気通過抵抗係数  $C_w$  との間の関係が分れば  $\eta_{th}$  と  $\varphi$  或は  $\eta_{th}$  と  $b_4$  を與へることにより、上式から  $A_0$  を求めることが出来る。

次ぎに冷却器の温度上昇率  $\eta_{th}$  と抵抗係数  $C_w$  との間には、レイノルズの理論を用ひ實驗的に次の如き關係式が得られてゐる。(1)

(1) 偏平六角管

$$C_w = 0.13 + 2.04 \log_e \frac{1}{1 - \eta_{th}} \dots \dots \dots (21.1)$$

(2) 正六角管

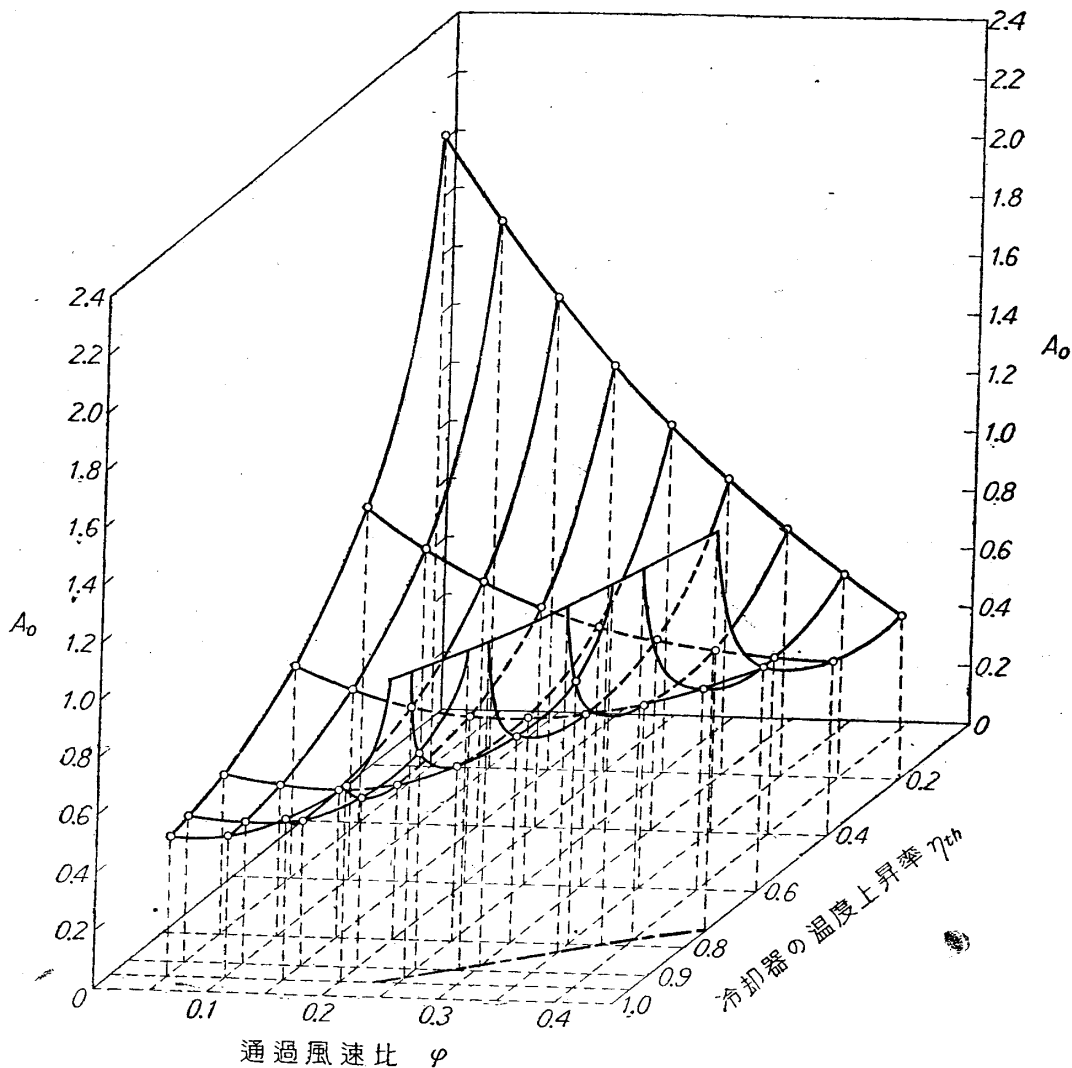
$$C_w = 0.22 + 2.04 \log_e \frac{1}{1 - \eta_{th}} \dots (21.2)$$

(3) 正四角管

$$C_w = 2.74 \log_e \frac{1}{1 - \eta_{th}} \dots (21.3)$$

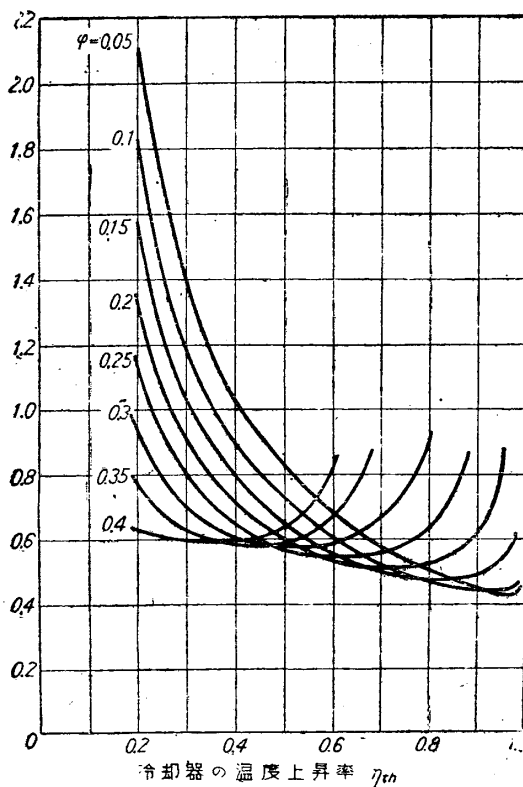
(4) ローレンツの實驗

$$C_w = 0.17 + 2.125 \log_e \frac{1}{1 - \eta_{th}} \dots (21.4)$$

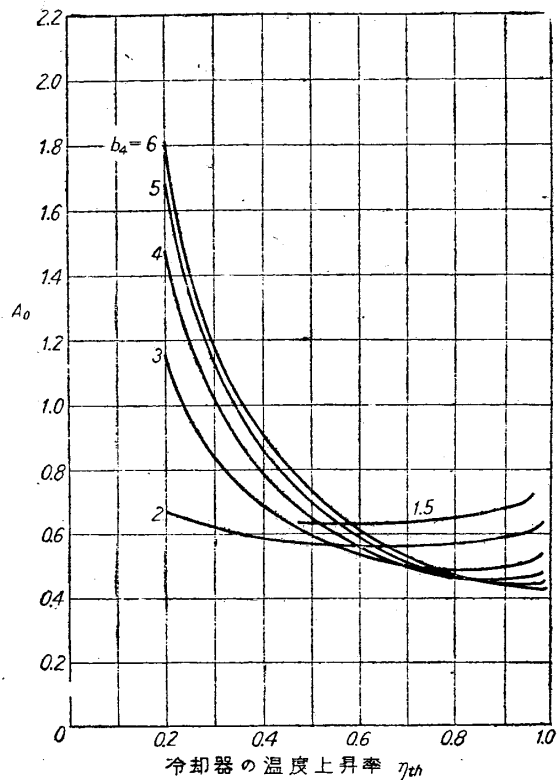


第 9.1 圖 装 備 效 率

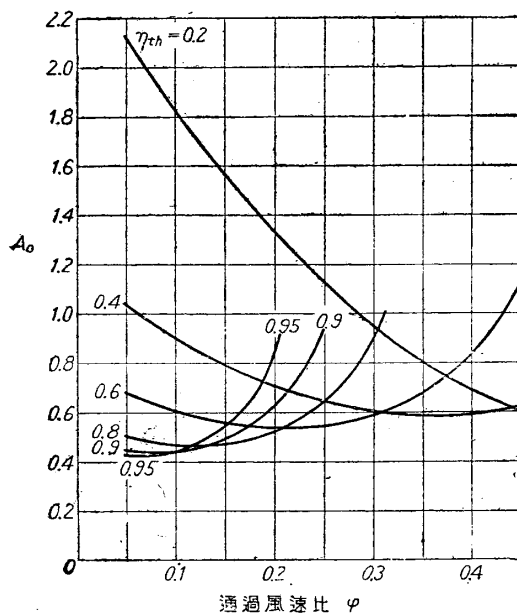
- (1) 冷却器の装備法 (第 3 報); 航研報告, 第 239 號, 昭和 17 年 9 月  
 蜂の巢型冷却器の性能試験 (第 3 報); 航研彙報, 第 182 號, 昭和 12 年 10 月  
 " " (第 4 報); 航研彙報, 第 206 號, 昭和 16 年 10 月  
 " " (第 5 報); 航研彙報, 第 249 號, 昭和 17 年 12 月



第9.2圖 裝備效率



第9.3圖 裝備效率



第9.4圖 裝備效率

以上の如く冷却器の抵抗係数はその型式により若干相違するが、一般的な傾向を見る上には何れを採用しても裝備效率には大して影響はない。

依つて冷却器の抵抗係数としては(21.1)式を用ひ、通過面積比  $f=0.75$  として、冷却空氣として地上標準大氣に於て冷却器の作用溫度  $100^{\circ}\text{C}$  なる場合につき、(20) 或は (20)' を用ひ、冷却器の各溫度上昇率に對する裝備效率を計算すれば第9.1圖の如くなる。同圖から分るやうに、通過風速比は  $0.05\sim 0.1$  位に落し、冷却器の溫度上昇率は  $0.9\sim 0.95$  といふ高い所で  $A_0$  は最小になり、裝備效率は最もよくなる。これを通過風速比をパラメータとして示すと第9.2圖のやうになり、出口絞り比  $b_4$  をパラメータとして示すと第9.3圖のやうになる。

これらの諸線圖から、冷却系の重量を考慮せず冷却系の抵抗のみを考へた場合には、冷却系の出口は出来る限り絞り、通過風速比は出来る限り落し、この時冷却器の溫度上昇率は  $0.9\sim 0.95$  になる如き冷却器を裝備した場合が裝備效率が一番よいことになることが分る。



第 9.4 圖は冷却器の溫度上昇率をパラメータとした場合であつて、これから分ることは、冷却器の溫度上昇率が 0.9~0.95 位に高ければ常に裝備效率が最もよくなるかと云へば、必ずしもそうではなく、通過風速比が大きい所で換言すれば冷却器前の風速が高い所で、然も尚 0.9~0.95 といふ高い溫度上昇率の冷却器を用ふれば、かゝる風速にて溫度上昇率が 0.6~0.4 といふ低い價を示す冷却器も裝備した場合よりも却つて裝備效率は悪くなるのであつて、要は冷却系の出口を絞つて冷却器前の風速を落し、かゝる風速にて溫度上昇率が 0.9~0.95 といふ高い溫度上昇率を示す冷却器を裝備した場合が裝備效率は最もよくなるのである。

以上のことから、冷却系の抵抗のみを考へた場合には、如何にすれば裝備效率が最もよくなるかが分つたが、冷却系の重量に基づく抵抗を加算した場合には、溫度上昇率の高い冷却器は一般に重量が大きいために、以上の傾向は若干變つて來る、以下冷却系の重量に基づく抵抗を加算した場合について考察する。

## 5.2 冷却系の重量に基づく抵抗を加算した場合

冷却系の重量としては導風路の重量及び冷却器の重量があるが、導風路の重量を推定することは困難であり、且つ冷却系の重量の中冷却器の重量が大部分を占めており、一般的な冷却器の裝備法を論ずる場合には導風路等の重量は變らぬものとして差支へない。従つてこゝでは冷却系の重量としては冷却器のみの重量をとることとする。

### 5.2.1 冷却器の所要前面積

放熱量を  $Q$  kcal/s, 冷却器の前面積を  $S_2$  m<sup>2</sup> とすれば

$$Q = \rho g \cdot \varphi \cdot w_0 \cdot S_2 \cdot C_p \cdot \theta \cdot \eta_{th} \dots \dots \dots (24)$$

となる。従つて單位放熱量當りの前面積は

$$\frac{S_2}{Q} = \frac{1}{\varphi \cdot \eta_{th}} \times \frac{1}{\rho g \cdot C_p \cdot \theta \cdot w_0} \dots \dots \dots (25)$$

となる。 $\rho$ ,  $C_p$ ,  $w_0$ ,  $\theta$  が一定なる場合には、冷却器の單位放熱量當りの前面積の大小は  $\frac{1}{\varphi \cdot \eta_{th}}$  の大小を論ずればよい

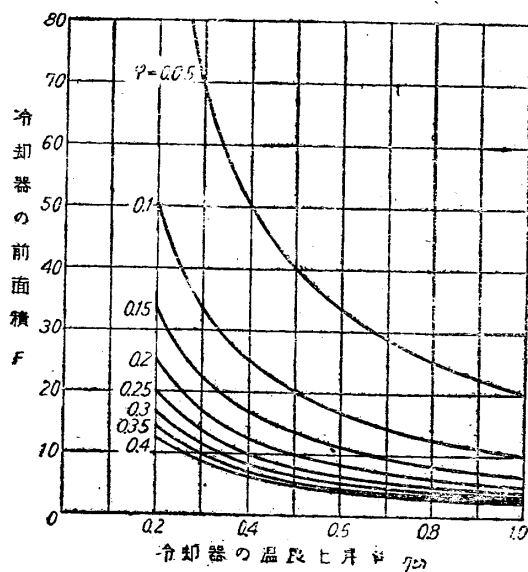
$$F = \frac{1}{\varphi \cdot \eta_{th}} \dots \dots \dots (26)$$

とし、(14) 式をこれに代入すれば

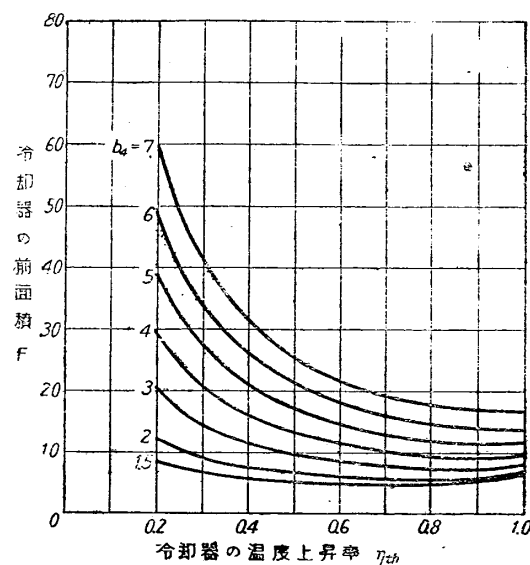
$$F = \frac{1}{\eta_{th}} \cdot \frac{(1+\alpha)b_4^2 + C_r - \alpha - 0.406}{0.746 + \sqrt{0.5563 + 0.245\{(1+\alpha)b_4^2 + C_r - \alpha - 0.406\}}} \dots \dots \dots (26)'$$

冷却器の抵抗係數と溫度上昇率との間には、(23) 式の如き關係があるから、出口絞り比  $b_4$  と  $\eta_{th}$  或は通過風速比  $\varphi$  と  $\eta_{th}$  が與へられると  $F$  が求まる。第 10.1 圖及び第 10.2 圖にこれを示す。

同圖から分ることは、出口絞り比  $b_4$  が小さい場合即ち冷却系の出口が大きい場合には、單位放熱量當りの前面積は冷却器の溫度上昇率によつては大して變化しないが、出口を非常に絞つた場合には溫度上昇率によつて可成り變化する。但し何れの場合も冷却器の溫度上昇率が高い場合は大して變化しない。



第 10.1 図 冷却器の前面積



第 10.2 図 冷却器の前面積

### 5.2.2 冷却器の重量

冷却器の重量は、その構造や製作法等によつて変化するため、あらゆる種類の冷却器の重量を統一的に推定することは殆んど不可能である。然し航空研究所に於て試験された各種の試作冷却器の重量は大體次のやうな実験式にて推定することが出来る。即ち管内風速 30 m/s の時、冷却器の単位前面積當りの含水重量  $W_1$  は

$$W_1 = 0.1 + 3.43 \log_e \frac{1}{1 - \eta_{th}} \text{ kg/dm}^2 \dots \dots \dots (27)$$

である。然し上式は管内風速 30 m/s の場合であり、管内風速が變れば、これの補正をしなければならない。

$a$  = 冷却管から空氣への熱傳達係數

$C_p$  = 空氣の定壓比熱

$\rho$  = 空氣の密度

$v$  = 冷却管内における冷却空氣の平均速度

$l$  = 冷却管の長さ

$d$  = 冷却管の水力直徑

$\eta_{th}$  = 冷却器の温度上昇率

とすれば次式が成立つ。

$$\frac{a}{C_p \rho v} = \log_e \frac{1}{1 - \eta_{th}} / 4 \frac{l}{d} \dots \dots \dots (28)$$

又冷却器に関する多數の實驗結果より、熱傳達係數  $a$  は空氣速度  $v$  の 0.79 乗に比例することが分つた。<sup>(3)</sup> 即ち

(1) 冷却器の裝備法 (第 3 報); 航空研究所報告, 第 239 號, 昭和 17 年 9 月

(2) 航空機用冷却器の性能計算に関する參考データ; 航空研究所彙報, 第 215 號, 昭和 17 年 7 月

(3) 航空機用冷却器の性能計算に関する參考データ; 同上

$$\alpha = k \cdot v^{0.79} \dots \dots \dots (29)$$

従つて (28), (29) の兩式から

$$\log_e \frac{1}{1-\eta_{th}} = 4 \frac{l}{d} \frac{k}{C_p \cdot \rho} v^{-0.21} \dots \dots \dots (30)$$

今管内風速  $v$  m/s なる時、溫度上昇率  $\eta_{th}$  なる冷却器は管内風速 30 m/s なる時は如何なる溫度上昇率になるかを見るに、この時の溫度上昇率を  $\eta'_{th}$  とすれば

$$\frac{\log_e \frac{1}{1-\eta'_{th}}}{\log_e \frac{1}{1-\eta_{th}}} = \frac{30^{-0.21}}{v^{-0.21}}$$

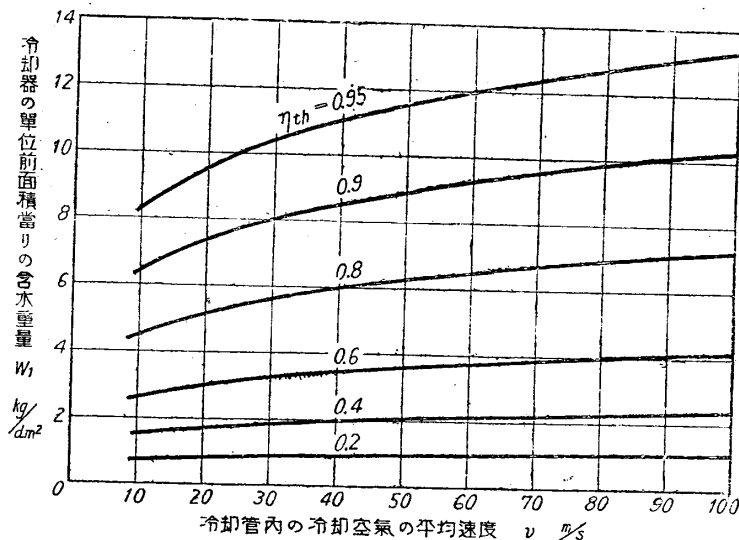
となる。即ち

$$\log_e \frac{1}{1-\eta_{th}} = \left( \frac{v}{30} \right)^{0.21} \log_e \frac{1}{1-\eta'_{th}} \dots \dots \dots (31)$$

管内風速 30 m/s なる時の溫度上昇率が分れば (27) 式から重量が分る。従つて管内風速  $v$  m/s なる時に溫度上昇率  $\eta_{th}$  なる冷却器の單位前面積當りの含水重量  $W_1$  は

$$W_1 = 0.1 + 3.43 \left( \frac{v}{30} \right)^{0.21} \log_e \frac{1}{1-\eta_{th}} \text{ kg/dm}^2 \dots \dots \dots (32)$$

となる。  $W_1$  が管内風速及び溫度上昇率により如何に變るかを示すと、第 11 圖のやうになる。溫度上昇率が低い冷却器は風速によつては殆んど變化しないが、溫度上昇率が高い冷却器は、風速によつて特に風速が低い場合相當變化する。然し何れの風速に於ても溫度上昇率



第 11 圖

が高くなるにつれ、冷却器の重量は急激に重くなる。

冷却器の前面積を  $S_2$  とすれば、放熱量  $Q$  kcal/s なる時の冷却器の全含水重量  $W$  は

$$W = S_2 \cdot W_1$$

従つて單位放熱量當りの冷却器の含水重量は

$$\frac{W}{Q} = W_1 \frac{S_2}{Q}$$

$$= \frac{W_1}{\varphi \cdot \eta_{th}} \times \frac{1}{\rho g C_p \theta w_0} \dots\dots\dots (33)$$

$\rho, C_p, w_0, \theta$  が一定なる場合は冷却器の単位放熱量當りの含水重量の大小は  $\frac{W_1}{\varphi \cdot \eta_{th}}$  の大小を論ずればよい

$$G_1 = \frac{W_1}{\varphi \cdot \eta_{th}} \dots\dots\dots (34)$$

とし、これに (14) 式を代入すれば

$$G = \frac{W_1}{\eta_{th}} \cdot \frac{(1+\alpha)b_4^2 + C_r - \alpha - 0.406}{0.746 + \sqrt{0.5563 + 0.245\{(1+\alpha)b_4^2 + C_r - \alpha - 0.406\}}} \dots\dots (34)'$$

となる。冷却器の単位前面積當りの含水重量  $W_1$  として、(32)式を用ひて計算すると第12.1圖及び第12.2圖の如くなる。これらの圖から  $b_4$  を一定にした場合も、 $\varphi$  を一定にした場合も冷却器の温度上昇率が高くなると、急激に重量が増大することが分る。

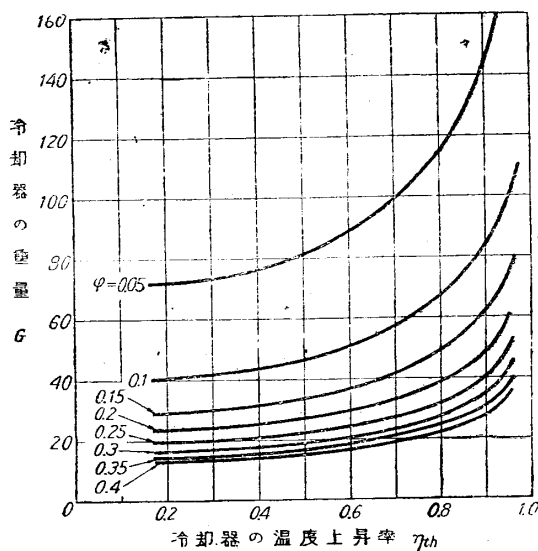
### 5.2.3 装 備 効 率

以上により冷却器の重量が分つたから、冷却系の抵抗の外に更に冷却器の重量に基づく抵抗を加算した場合の装備効率を求めてみる。

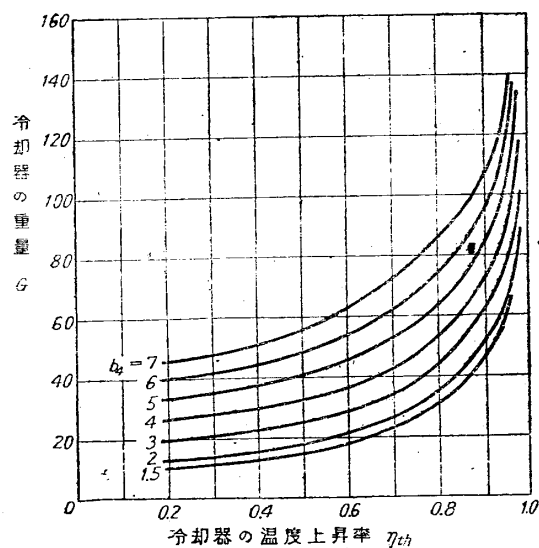
$c_x$  = 翼の抵抗係数

$w$  = 翼面荷重

とすれば、冷却器の重量  $W$  を支へるためには、 $W/w$  だけ翼面積を増さねばならないから、これに基づく抵抗  $D_w$  は



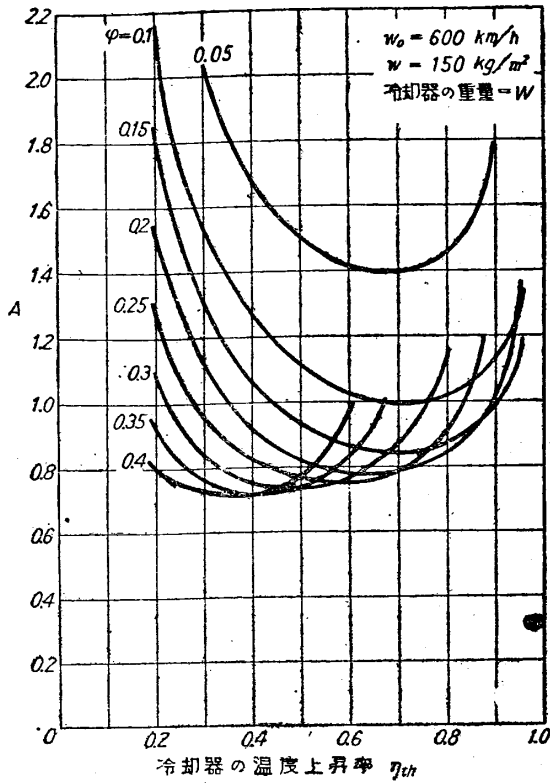
第12.1圖 冷却器の重量



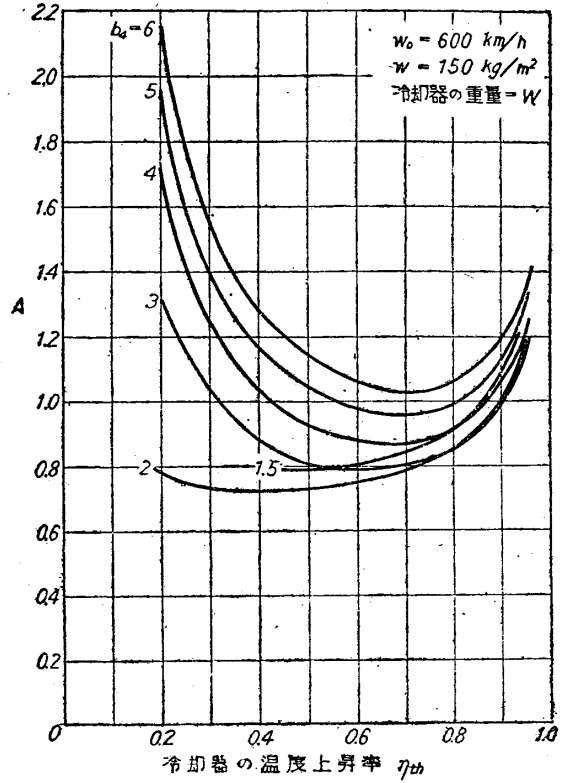
第12.2圖 冷却器の重量

$$D_w = c_x \frac{1}{2} \rho w_0^2 \frac{W}{w}$$

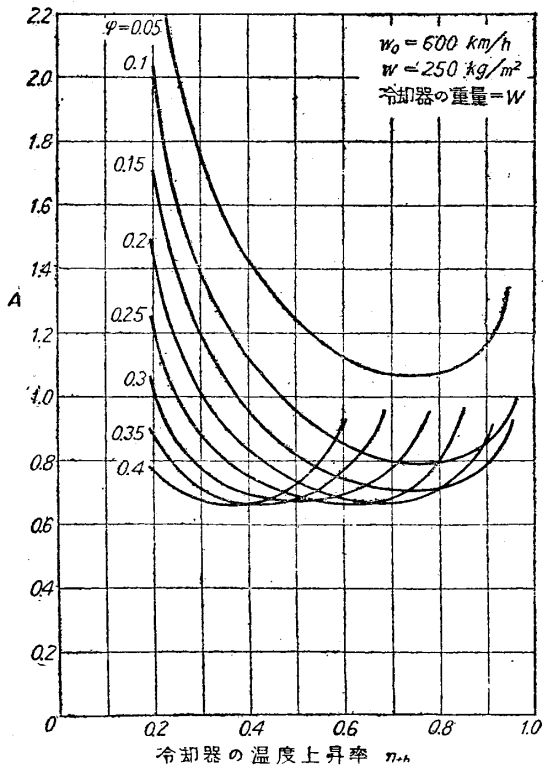
となる。従つて重量による抵抗馬力  $P_w$  は



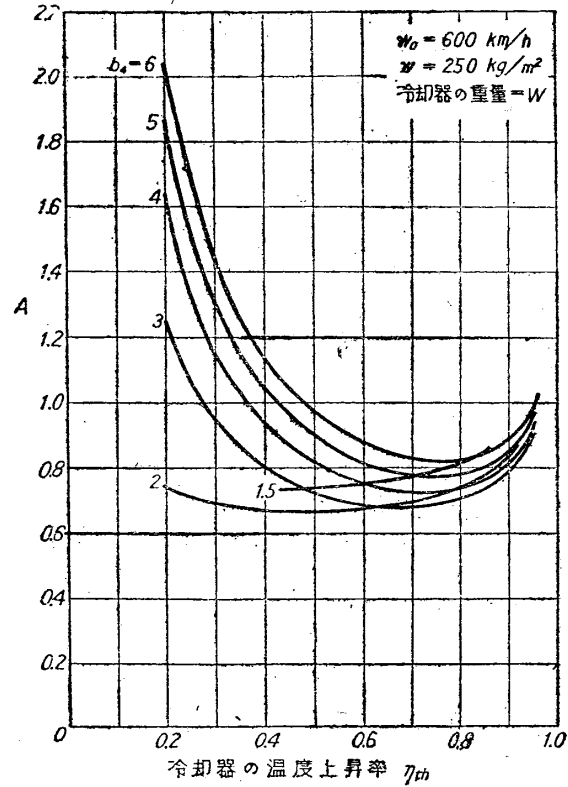
第13.1圖 裝備効率



第13.2圖 裝備効率



第13.3圖 裝備効率



第13.4圖 裝備効率

$$P_w = \frac{1}{2} \frac{c_x}{w} W \rho w_0^3 \frac{1}{75} \dots\dots\dots (35)$$

然るにその時の放熱馬力  $Q$  は

$$Q = \rho g w_0 S_2 C_p \theta \eta_{th} \times 5.691 \dots\dots\dots (35)'$$

であるから、冷却器の重量による装備効率  $\eta_w$  は

$$\begin{aligned} \frac{1}{\eta_w} &= \frac{P_w}{Q} \\ &= \frac{\frac{1}{2} \frac{c_x}{w} W_1}{\varphi \cdot \eta_{th}} \cdot \frac{w_0^2}{C_p \cdot \theta} \cdot \frac{1}{427 g} \dots\dots\dots (36) \end{aligned}$$

今

$$A_w = \frac{\frac{1}{2} \frac{c_x}{w} W_1}{\varphi \cdot \eta_{th}} \dots\dots\dots (37)$$

とおく、或は又  $\varphi$  の代りに (14) 式を代入し

$$A_w = \frac{\frac{1}{2} \frac{c_x}{w} W_1}{\eta_{th}} \cdot \frac{(1+\alpha)b_4^2 + C_r - \alpha - 0.406}{0.746 + \sqrt{0.5563 + 0.245\{(1+\alpha)b_4^2 + C_r - \alpha - 0.406\}}} \dots\dots\dots (37)'$$

を得る。然る時は冷却器の重量に基づく抵抗を加算した場合の冷却系の全装備効率  $\eta$  は

$$\begin{aligned} \frac{1}{\eta} &= \frac{1}{\eta_0} + \frac{1}{\eta_w} \\ &= \left\{ \frac{1 - (1+\alpha)b_4\varphi}{\eta_{th}} + \frac{\frac{1}{2} \frac{c_x}{w} W_1}{\varphi \cdot \eta_{th}} \right\} \cdot \frac{w_0^2}{C_p \theta} \cdot \frac{1}{427 g} \dots\dots\dots (38) \end{aligned}$$

従つて

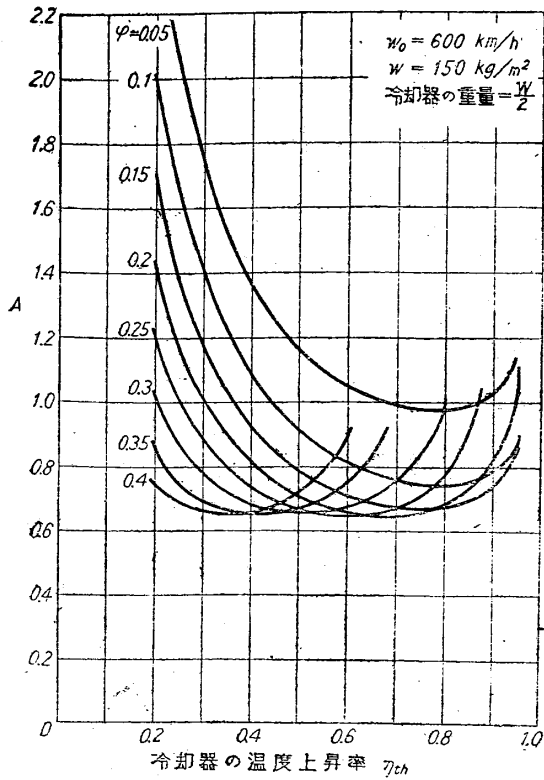
$$\begin{aligned} A &= \frac{1 - (1+\alpha)b_4\varphi}{\eta_{th}} + \frac{\frac{1}{2} \frac{c_x}{w} W_1}{\varphi \cdot \eta_{th}} \\ &= A_0 + A_w \dots\dots\dots (39) \end{aligned}$$

となり、 $w_0$ ,  $C_p$ ,  $\theta$  が一定なる場合は  $A$  の大小のみを論ずればよい。即ち  $A$  が小さい程装備効率はよくなる。

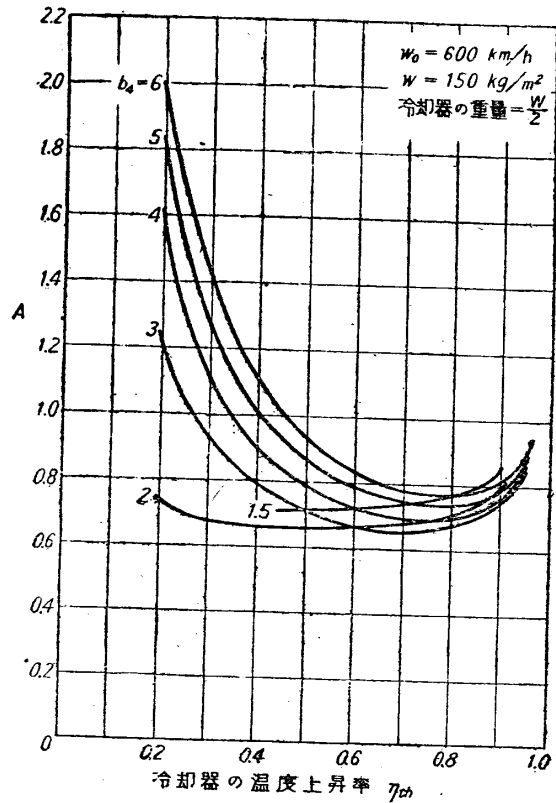
今一般流の流速  $w_0$  が與へられた場合、各の  $\varphi$  の値に對して冷却器前の風速が分り、各温度上昇率に對して冷却器の單位前面積當りの含水重量  $W_1$  が分り、又各温度上昇率に對して抵抗係數  $C_r$  が分るから上式から  $A$  を計算することが出来る。又  $\varphi$  と  $C_r$  が分つてゐるからそれに必要な  $b_4$  も分る。更に  $b_4$  と  $\eta_{th}$  が與へられた場合も同様に  $\varphi$  が分り、それから  $A$  を計算することが出来る。

冷却器の重量として (32) 式を用ひ、一般流の流速  $w_0 = 600 \text{ km/h}$  なる場合につき、翼の抵抗係數  $c_x = 0.025$  として翼面荷重  $w = 150 \text{ kg/m}^2$  及び  $250 \text{ kg/m}^2$  なる場合の全装備効率を出せば第 13.1, 13.2, 13.3, 13.4 圖の如くなる。

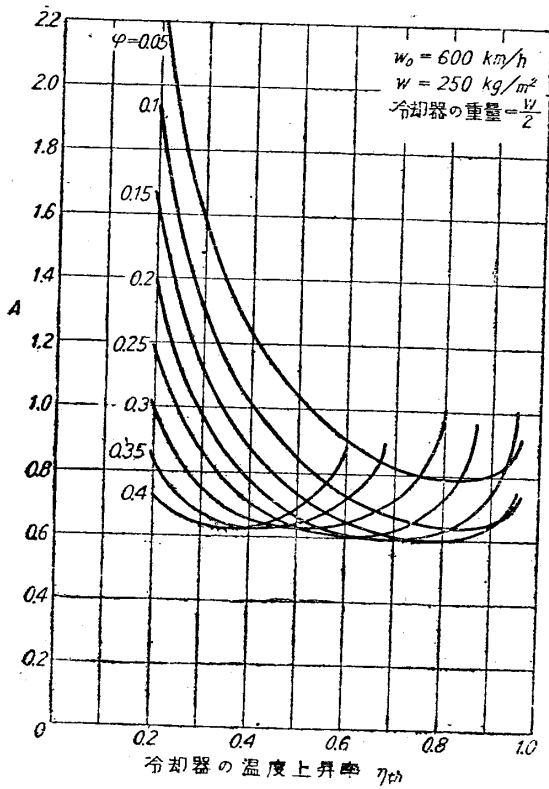
これらの諸線圖から分ることは、かゝる飛行機に於て冷却器の重量を加算した場合には、



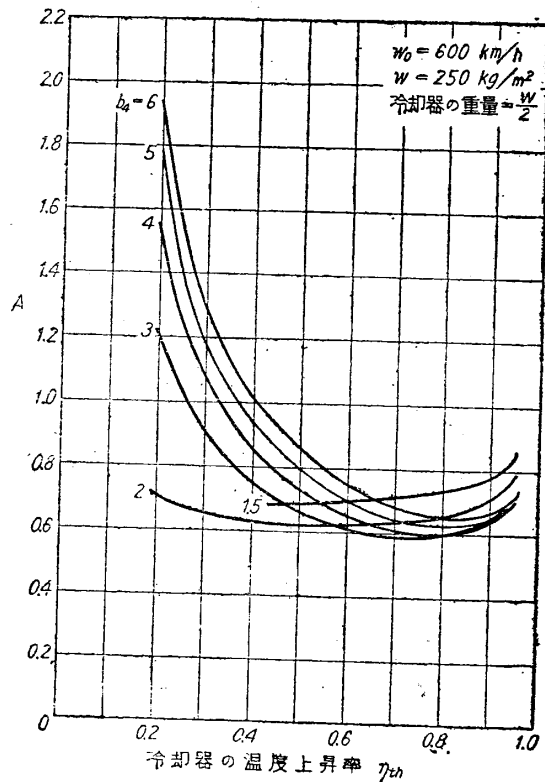
第14.1圖 裝備效率



第14.2圖 裝備效率



第14.3圖 裝備效率



第14.4圖 裝備效率

結局に於て、 $w=150 \text{ kg/m}^2$  なる場合は冷却系の出口は  $b_4=2$  位に絞り、通過風速比  $\varphi=0.35 \sim 0.4$  に於て  $\eta_{th}=0.4 \sim 0.5$  なる如き冷却器を装備した場合が装備効率が一番よくなり、 $w=250 \text{ kg/m}^2$  なる場合は、出口は  $b_4=2 \sim 2.5$  位に絞り、 $\varphi=0.35 \sim 0.4$  にて  $\eta_{th}=0.4 \sim 0.55$  なる如き冷却器を装備した場合が装備効率が一番よくなる。即ち翼面荷重が大きい場合程、出口を絞り、通過風速比を下げ、温度上昇率は高い方へ移行する。

以上の計算に用いた冷却器は可成り重い冷却器であつて、冷却器がもつと軽くなつた場合には如何になるかを見るために、前記の重量の半分になつた場合を計算してみると、第14.1 14.2, 14.3, 14.4 圖の如くなる。かゝる軽い冷却器を用いた場合には、 $w=150 \text{ kg/m}^2$  なる場合には  $b_4=2 \sim 3$  位に絞り、 $\varphi=0.2$  の時は  $\eta_{th}=0.7$ ,  $\varphi=0.3$  の時は  $\eta_{th}=0.6$ ,  $\varphi=0.4$  の時は  $\eta_{th}=0.4$  なる如き冷却器を用いた場合が装備効率が一番よくなり、 $w=250 \text{ kg/m}^2$  なる場合には  $b_4=3 \sim 4$  位に絞り、 $\varphi=0.2$  附近にて  $\eta_{th}=0.6 \sim 0.8$  位の冷却器を用いた場合が装備効率が一番よい。

之を要するに、冷却器の重量を考慮せず、冷却系の抵抗のみを考へた場合には、出口は  $b_4=6 \sim 7$  と出来るだけ絞つて冷却器前の通過風速比  $\varphi=0.05 \sim 0.1$  位に落し、その時温度上昇率  $\eta_{th}=0.9 \sim 0.95$  位の冷却器を用いた方が得策であるが、冷却器の重量を考へに入れると、一般に温度上昇率の高い冷却器程重量が重くなるから、飛行機の翼面荷重が小さく又冷却器の重量が重い程、冷却系の出口の絞りは開き、通過風速比は上げて冷却器の温度上昇率は低いものが得になる。然し飛行機の翼面荷重が大きい場合又は冷却器の重量が軽い場合には、冷却器の重量を考慮せざる場合に近づき、この時は出口を絞り、通過風速比は下げて、温度上昇率は高い方が得策である。

尙こゝで注意すべきは、通過風速比と温度上昇率との間の関係であつて、各通過風速比に對して最も装備効率のよい温度上昇率が存在し、その通過風速比にてその温度上昇率を示す冷却器を使用して始めて装備効率は一番よくなるのであつて、温度上昇率は同一でも通過風速比が變れば、装備効率は却つて悪くなる。

## 6. 結 語

以上冷却器の装備法の基礎的事項につき論じたが、装備法の各の場合につき若干相違する點は勿論あるが、以上述べたことから一般的に次の如く結論し得ると思ふ。

(1) 冷却系の導風路の損失は大部分は擴がり損失であつて、摩擦損失は一般に擴がり損失の  $1/10$  以下であつて、前者は後者に比し無視しても差支へない。

尙擴がり損失は (10) 或は (10)' の如き式にて表はせば、普通の冷却器の装備法に於ては  $\xi_1$  の變化は小さく、大體  $\xi_1=0.6$  附近にある。

(2) 或は又導風路の損失を表はす係数を (4) 式にて示す  $C_d$  の如くとれば、通常の冷却系の導風路では  $C_d$  と通過風速比  $\varphi$  との間には (13)' 式にて表はせる如き實驗式が成立つ。

(3) 以上の如き損失係数を使用することにより、冷却器の抵抗係数と出口絞り比が與へられると、その時の通過風速比及び冷却系の抵抗係数を大體に於て推定することが出来、又冷却器の抵抗係数と所要通過風速比が與へられると、それに必要な出口絞り比  $b_4$  を推定することが出来る。



(4) 既に今迄に云はれてゐることではあるが、冷却系の抵抗は運動量の變化の式から大體推定出来る。

(5) 冷却系の裝備效率は、冷却系の抵抗のみを考へた場合には出口を非常に絞り、通過風速比を下げ、冷却器の溫度上昇率は 0.9~0.95 附近の高い所が得になるが、冷却系の重量を加算した全體の裝備效率を考へに入れると、翼面荷重等によつても勿論相違するが、大體に於て  $b_4=2\sim3$ ,  $\varphi=0.3\sim0.4$  附近にて  $\eta_{th}=0.4\sim0.5$  附近が一番得になるやうである。

(18. 11. 19)