

No. 235.

(Published July 1942.)

**Exhaust Gas Turbo-Supercharger or Rocket Action
of Exhaust Gas.**

By

Fujio NAKANISHI.

Abstract.

For engines of high speed aeroplanes, mechanically driven superchargers with rocket action of exhaust gas are more effective than exhaust gas turbo-superchargers. The aeroplane velocity, above which rocket action is better, is given by

$$v_0^2 = (39,400 \sim 41,300)g\lambda\eta_p^2\eta_t,$$

where, v_0 = velocity of the aeroplane in m/sec, g = acceleration of gravity in m/sec², λ = ratio of gas turbine horsepower to that of the engine, η_t = efficiency of the gas turbine, and η_p = efficiency of propeller.

排氣による反動推進と排氣ターボ過給機

所員 中西 不二 夫

目 次

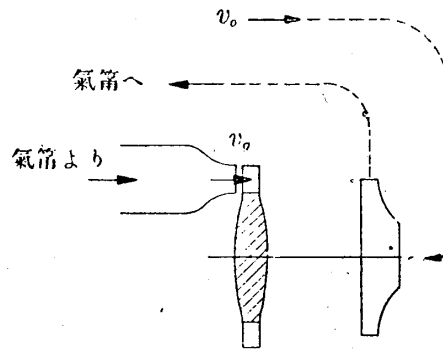
1. 緒 言	117
2. 推 力 馬 力	118
3. 推力馬力の比較	119
4. 機械的駆動の有利な範囲	122
5. 結 言	122

1. 緒 言

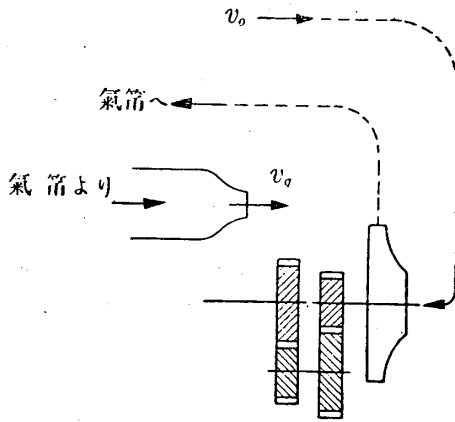
航空發動機の排氣ガスは未だ多量のエネルギーを持つてゐるから、これを利用して排氣ガスタービンを作り過給機を動かすといふことは既に古くから行はれてゐるが、ガスの温度が高いために技術上可なり困難を伴ふものである。

排氣ガスの利用法としてもつと直接な方法は、後向きに噴出させてその反動力で飛行機の推進を助けることである。現在の實用高速機は 600~700km/h 程度の速度であるが、このくらゐになるとこの反動力のする仕事も相當大きいものになる。然もたゞ後向きに噴出させるだけであるから装置は極めて簡單である。勿論この場合過給機は機械的に駆動しなければならない。これは比較的容易であるが、そのため發動機出力はターボ過給機を用ひた場合より當然減少する。然し噴出反動力のする仕事がこの出力減少を補つて餘りあるならば、何も苦しんで排氣ガスタービンを作る必要はなくなるのである。今この問題に就て調べてみようと思ふ。

第 I 圖は排氣タービンで過給機を駆動する場合の配置を示したもので、排氣ガスはノズルから v_0 の速度で噴



第 I 圖



第 2 圖

出しタービン翼に當つてゐるものとする。

第 2 圖は過給機を機械的に駆動する場合の配置であるが、この場合排気管は第 1 圖のときのまゝ、ノズルもそのまゝ、たゞ方向だけは反動推進に都合のよいやうに後向きに噴出するものとする。即ち排気管内の壓力は等しく、ガスの噴出速度もやはり v_0 であると假定する。實際に反動を推進に利用するには排気管の形も噴出速度ももつと適當なのがあると思ふ。然し別の形、別の噴出速度

にすると比較が困難になるので、茲では比較の正確を期するために噴出速度は等しいものとした。かうすれば發動機本体の作用状態は全く同じなのである。

2. 推 力 馬 力

今

- v_0 を飛行速度、
- P_e を發動機本体の出す馬力、
- P_s を過給機の駆動に要する馬力、
- η_p をプロペラの効率
- w_a を發動機が單位時間に吸入する空氣量、
- w_f を單位時間の燃料消費量とすれば、

機械的駆動の場合にはプロペラの推力馬力は

$$\eta_p(P_e - P_s)$$

である。又初め v_0 で吸入する空氣を燃料と混合して燃焼し、その全體を v_0 で噴出するのであるから、このために生ずる推力は

$$\frac{w_a + w_f}{g} v_0 - \frac{w_a}{g} v_0$$

である。従つて機械的駆動に於ける全體の推力馬力 T_m は

$$T_m = \eta_p(P_e - P_s) + \frac{w_a + w_f}{g} v_0 v_0 - \frac{w_a}{g} v_0^2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

これに對して、排気タービンの場合には發動機本體の馬力は全部プロペラに用ひられるから、その推力馬力は

$$\eta_p P_e$$

である。噴出ガスの運動エネルギーはタービンで大部分吸収してしまふものとしてタービンから出るガスの反動力を考へなければ、初め v_o で流入する空気を止めるために

$$\frac{w_a}{g} v_o$$

だけの抵抗がある。従つて排気タービンの場合の推力馬力 T_t は

$$T_t = \eta_p P_e - \frac{w_a}{g} v_o^2. \quad \dots\dots\dots(2)$$

3. 推力馬力の比較

過給機は同じものであるから、排気タービンの出力 P_t は機械的駆動の場合に過給機の吸収する馬力 P_s に等しい。詳しく云へば齒車等の効率を考へなければならぬが、これは省略しても結果には殆んど差違はない。單位時間にノズルから噴出するガスの持つてゐる運動エネルギーは $v_o^2(w_a + w_f)/2g$ であるから

$$P_s = P_t = \eta_t \frac{w_a + w_f}{2g} v_o^2, \quad \dots\dots\dots(3)$$

但し η_t は排気タービンの効率である。

機械的駆動と排気タービンを用ひた場合との推力馬力の差 $T_m - T_t$ を (1)、(2) 及び (3) から求めると

$$\begin{aligned} T_m - T_t &= \frac{w_a + w_f}{g} v_o v_o - \eta_p P_s \\ &= \frac{w_a + w_f}{g} v_o^2 \left(\frac{v_o}{v_o} - \frac{1}{2} \eta_p \eta_t \right). \quad \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

即ち

$$\frac{v_o}{v_o} > \frac{1}{2} \eta_p \eta_t, \quad \dots\dots\dots(5)$$

であるならば機械的に駆動する過給機を使ふ方が利益であると云ふことになる。

現在の齒車駆動過給機附の發動機では使用空氣量 1kg/sec に就て出力は 1100~

1200 HP であり、混合気 1kg/sec で 1050~1100 HP 程度のものである。即ち

$$P_c - P_s = (1050 \sim 1100) (w_a + w_f)^{HP}$$

今過給機駆動に要する馬力と發動機の馬力との比を λ と置けば

$$\lambda = \frac{P_s}{P_c - P_s}$$

従つて

$$\begin{aligned} P_s &= (1050 \sim 1100) \lambda (w_a + w_f)^{HP} \\ &= (78,800 \sim 82,500) \lambda (w_a + w_f) \text{ kg-m/sec.} \end{aligned}$$

(3) に入れば

$$v_o^2 = (78,800 \sim 82,500) \frac{2g\lambda}{\eta_t} \dots\dots\dots (6)$$

但し v_o は m/sec, g は m/sec² で表したものである。

排気タービンの効率あまり良いものではない。50% から良くて 60% であるが、今非常に良いもの假定し 70% として(6)から v_o を計算すると第 I 表のやうになる。またこの表には近き將來の實用高速機として $v_o = 200$ m/sec と採り、 v_o/v_g を出し、これと $\frac{1}{2}\eta_p\eta_t$ との比較を出して置いた。プロペラの効率も高速にも拘らず非常に良いものと假定して 80% としたが、それでも v_o/v_g の方が大きく、機械的駆動の方が有利であることを示してゐる。

第 I 表

$v_o = 200$ m/sec. $\eta_t = 70\%$, $\eta_p = 80\%$.

λ	v_g , m/sec	$\frac{v_o}{v_g}$	$\frac{1}{2}\eta_p\eta_t$
0.10	470~480	0.425~0.417	} 0.280
0.15	575~588	0.348~0.340	
0.20	664~679	0.301~0.295	

機械的駆動の方が有利であることは分つたが、それではどの程度に有利であるか簡単に計算してみよう。

$$\frac{T_m - T_t}{T_t} = \frac{\frac{w_a + w_f}{g} v_o^2 \left(\frac{v_o}{v_g} - \frac{1}{2} \eta_p \eta_t \right)}{\eta_p P_c - \frac{w_a}{g} v_o^2}$$

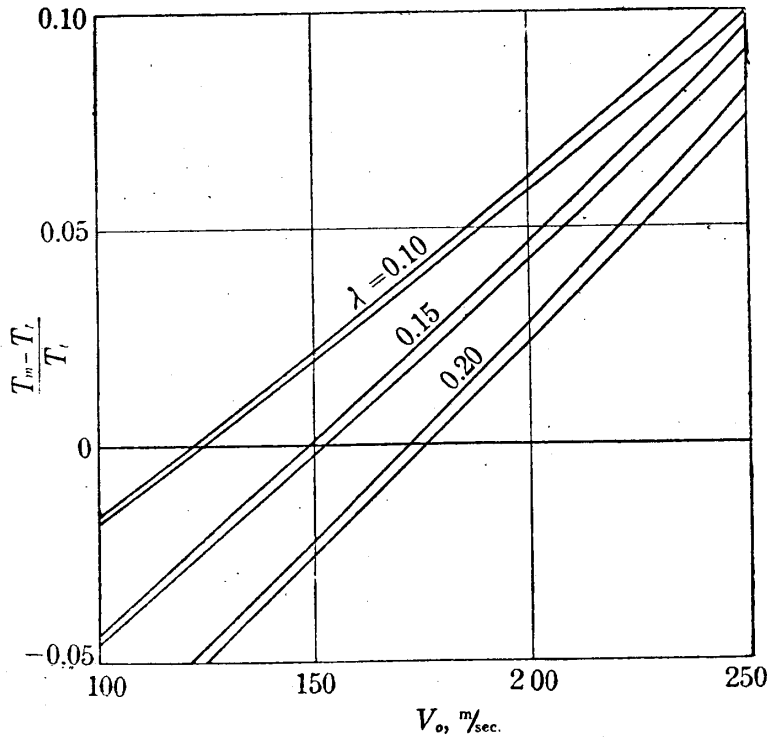
これに (3) より得られる

$$P_c = P_s \left(\frac{1}{\lambda} + 1 \right) = \left(\frac{1}{\lambda} + 1 \right) \eta_t \frac{w_a + w_f}{2g} v_g^2,$$

の關係を入れれば

$$\frac{T_m - T_t}{T_t} = \frac{\frac{v_g}{v_o} - \frac{1}{2} \eta_p \eta_t \left(\frac{v_g}{v_o} \right)^2}{\frac{1}{2} \eta_p \eta_t \left(\frac{1}{\lambda} + 1 \right) \left(\frac{v_g}{v_o} \right)^2 - \frac{w_a}{w_a + w_f}} \dots\dots\dots (7)$$

式中の $w_a/(w_a + w_f)$ は 0.925~0.935 程度のものであり、又 v_o は既に (6) に λ の函数として出てゐるから、(6) と (7) とから容易に $(T_m - T_t)/T_t$ を v_o 及び λ の



第 3 圖

函数として表すことが出来る。第3圖は $\eta_p = 80\%$ 、 $\eta_t = 60\%$ 、 $w_a/(w_a + w_f) = 0.93$ と採つてこの關係を圖示したものである。飛行速度 200 m/sec に於ては $\lambda = 0.1$ で 6%、 $\lambda = 0.15$ でも 4.5% くらゐの利益になつてゐる。

4. 機械的駆動の有利な範囲

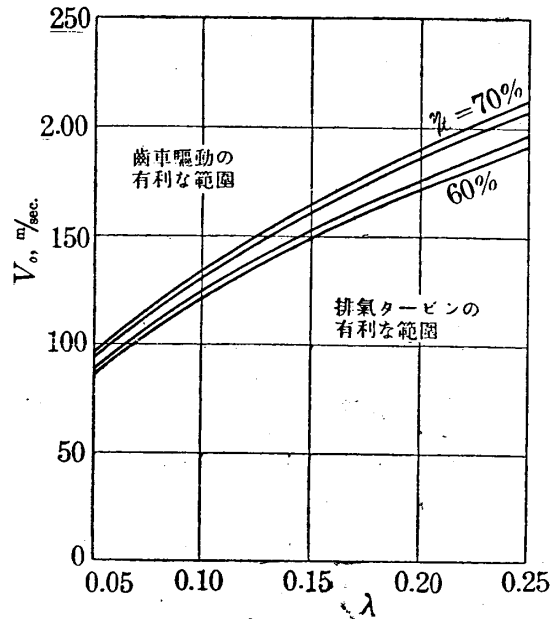
(5) と (6) とから v_0 を消去すれば

$$v_0^2 > (39,400 \sim 41,300) g \lambda \eta_p^2 \eta_e^2 \dots\dots\dots(8)$$

但し v_0 は m/sec, g は m/sec² で表したものである。これは機械的駆動の有利な範囲を表す式で、圖に示せば第4圖のやうになる。

低速の飛行機では排気タービンの方が有利であるが、高速のものでは排気タービンの出力の特別に大きいものでない限り機械的駆動の方が有利である。

正規高度の高い二段過給發動機で、一段を機械的駆動とし他の一段を排気タービンにするか機械的駆動にするかと云ふ問題の起ることもあるが、この場合も全く同様である。初めから機械的に駆動すると決めた過給機を含んだものを發動機本體と見做せばよいのであつて、孰れが有利かと云ふことは排気タービンの出力と發動機出力の比を λ として(8)式で表されるのである。



第 4 圖

5. 結 言

以上述べたことは總て正規高度に於てのことである。タービン駆動のものは正規高度以下でも發動機出力の減少を來さないが、機械的駆動のものでは何段かに速度の變る齒車装置にするとか、液體接手を用ひるとかしても途中で幾らか出力の減少することを免れない。然し正規高度で 5~6% も餘計出るやうならば正規高度以下のどの高度に於ても機械的駆動の方が良いやうに出来ると思ふ。

結論としては高速機では過給機は排気タービンで駆動するよりも、機械的に駆動し、排気は後向きに噴出させてその反動作用を利用するやうにした方が有利である

と云へる。

こゝに注意すべきことは、機上に於ては機械的駆動の方が推力馬力が大きいに拘らず、發動機の地上運轉臺の試験では排気タービン駆動の方が出力が著しく大きいことである。かうなると運轉臺試験の結果だけから發動機の優劣を決めることが出来なくなるのであつて、發動機の格付けに關して考へるべき問題であると思ふ。