

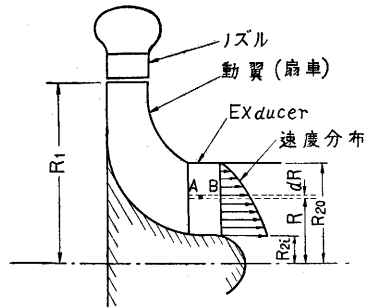
ラジアルガスタービンの研究 (第 6 報)

—Exducer 内の流れについて—

Studies of Radial Gas turbine (Paper No. 5)
—On the flow of Gas in the Exducer—by Nagao Mizumachi

水 町 長 生

ラジアルタービンで最大効率を得るためには、第 1 報の理論計算で述べたように exducer からの相対流出角を (1) 式で与え、exducer 出口の絶対速度分布が第 1 図に示すような特殊な分布を与えることが必要である。exducer 内の流れは軸流タービンの羽根の中の流れに似ており、軸心を中心とする円筒内面のみの運動を行い、半径方向向きの流れが生じないようにするには、exducer 内の各点の遠心力と、その点の半径方向の圧力勾配が釣合っていることが必要である。そこで前述の特殊な速度分布を与えるようにした場合に、前記の条件を満足し得るか否かについて検討し、半径方向向きの流れが生じないようにするには、exducer 内部でどのような流線の形を与えなければならないかについて理論計算を行い、このような考慮のもとに exducer を設計すれば、半径方向の流れを生じないようにすることができることを実験的に明らかにした。



第 1 図 出口速度分布

最高効率を出すときの exducer 出口の相対流出角 β_2 は、

$$\tan \beta_2 = \sqrt{1 - \phi_2^2} \sqrt{\left(\frac{R_{20}}{R}\right)^2 - 1} \quad (1)$$

になるようにしなければならない。 ϕ_2 は動翼の速度係数である。

exducer 内の任意の半径 R 上の一点 A について考え、連続の式、エネルギーの式を適用し、(1) 式の条件を入れて A 点の圧力を求めると次のようになる。

$$\mu = \mu_2 + \left(1 + \frac{\zeta}{2}\right)r^2 + (1 - \phi_2^2) \left\{ \zeta - \left(1 - \frac{\zeta}{2}\right)\theta^2 \right\} (1 - r^2) \quad (2)$$

ただし、 $\mu = p / \frac{\rho}{2} u_{20}^2$, $\mu_2 = p_2 / \frac{\rho}{2} u_{20}^2$, $r = R / R_{20}$,

$p = A$ 点の圧力、 $p_2 = \text{exducer 出口の圧力}$, $u_{20} = \text{exducer 出口の外径 } R_{20} \text{ の周速}$, $\theta = 1 / \tan \beta$, $\zeta = \text{exducer 内の損失係数}$ 。

したがって A 点の半径方向の圧力勾配 $d\mu$ は

$$d\mu = 2r \left[\left(1 + \frac{\zeta}{2}\right) - (1 - \phi_2^2) \left\{ \zeta - \left(1 - \frac{\zeta}{2}\right)\theta^2 \right\} - (1 - \phi_2^2) \left(1 - \frac{\zeta}{2}\right) \left(\frac{1}{r} - r\right)\theta \frac{d\theta}{dr} \right] dr \quad (3)$$

他方 A 点の微小質量 dm に作用する遠心力を求め、これに釣合すべき半径方向の圧力勾配を求めると

$$d\mu = 2r \left(1 - \frac{\tan \beta_2}{\tan \beta}\right)^2 dr \quad (4)$$

である。したがって (3)、(4) の $d\mu$ が等しくなるように β (あるいは θ) と r の関係を定めてやればよい。これから次の微分方程式を得る。

$$(1 - \phi_2^2) \left(1 - \frac{\zeta}{2}\right) \left(\frac{1}{r} - r\right)\theta \frac{d\theta}{dr} + (1 - \phi_2^2) \left(\frac{1}{r^2} - 2 + \frac{\zeta}{2}\right)\theta^2 - 2\sqrt{1 - \phi_2^2} \sqrt{\frac{1}{r^2} - 1} \theta - \left(\phi_2^2 - \frac{1}{2}\right)\zeta = 0 \quad (5)$$

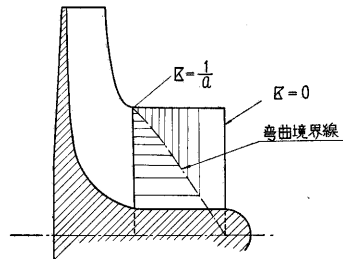
上式がラジアルタービンで最高効率を得るように、exducer 出口角および出口速度分布を与えるようにした場合に、exducer 内の各点で半径方向の圧力勾配と遠心力とが釣合うときの流線を表わす。上式の解は求まるが複雑な形となり解析が困難であるので、理想的な場合として exducer 内の損失がない場合について解を求める。このときの解は次のようになる。

$$\theta = 0 \quad (6)$$

$$\theta = \frac{1}{a} \frac{r}{\sqrt{1 - r^2}} - \frac{K}{r\sqrt{1 - r^2}} \quad (7)$$

ただし $a = \sqrt{1 - \phi_2^2}$, K は積分常数であって、軸方向の位置によって決まる値である。

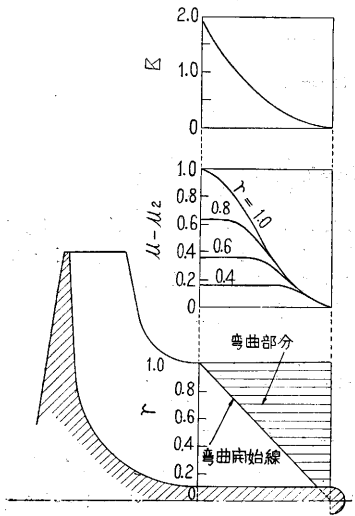
$\theta = 0$ ($\beta = \pi/2$) は exducer 入口 (半径流から軸流に変る部分) の条件であって、これから exducer 入口では、半径方向の圧力勾配と遠心力は釣合っていることがわかる。 K の値は、exducer 出口では $K = 0$ となり、exducer 入口では $K = r/a$ となり、 $r = 1$ (exducer 外径位置で $K = 1/a$, 軸心 ($r = 0$) で $K = 0$ となる。したがって exducer 内の K の分布は第 2 図のようになる。



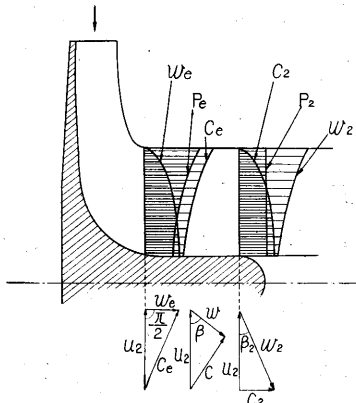
第 2 図 K の分布

K の軸方向の分布は、exducer の彎曲開始線の配置方法によって異なる。これにはいろいろの方法が考えられるが、次の三つの場合について考える。

- (a) exducer 入口から出口まで軸方向の距軸に比例して K を分布させた場合
- (b) exducer 外径位置における圧力を軸方向の距離に比例して降下させた場合
- (c) 彎曲開始線を直線とする場合



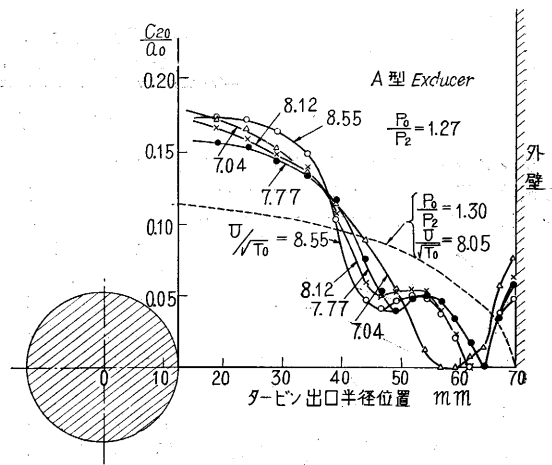
第3図



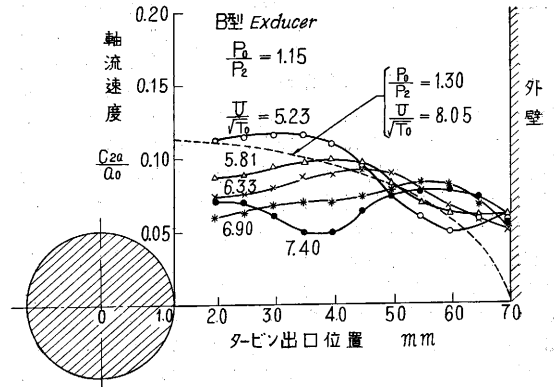
第4図 速度および圧力分布

以上三つの場合を比較すれば、彎曲開始線は (a) の場合が一番出口近くで彎曲を開始し、(b) の場合は exducer 外径付近で直ちに彎曲を開始する。したがって圧力は、(a) の場合は出口付近で急激に低下し、(c) の場合は入口付近で急激に低下する。(b) の場合が圧力降下は一番ゆるやかである。しかし (b) の場合は入口付近から外径部分を大きく曲げなければならないので、外径部分の流線の長さが非常に長くなり、設計および工作上非常に困難である。工作上および強度上からは外径付近の流線の長さはできるだけ短くすることが望ましく、その点からは (a) の場合のように彎曲開始点を後方にずらした方がよい。したがって工作上、強度上の問題および圧力降下の状況の点から考えると、exducer 外径付近では (a) の場合に近くし、中心部に行くにしたがい (c) の場合に近くするようにした方がよい。一例として (c) の場合の K の分布、圧力降下の状況および彎曲開始線の位置を第3図に示す。また exducer 内の相対速度 w 絶対速度 c 、圧力 p の変化の状況を第4図に示す。

以上の理論的考察をもとにして、exducer 内の圧力勾配と遠心力との釣合いを考慮しない exducer A 型と、



第5図 A型出口速度分布



第6図 B型出口速度分布

これを考慮した exducer B 型の二種類の exducer を試作して比較実験を行った。いずれも出口流出角は (1) 式になるように羽根出口を彎曲させてあり、また直線放射状部分の動翼は両者とも同一である。A 型は彎曲開始点が exducer の外径付近でおそく、中心部付近で早く曲るようになっており、B 型は反対に外径付近で早く曲げ、中心部付近でおそく曲るよう設計してあり、(c) の場合に近い。

この場合の exducer 出力における絶対速度を測定し、その軸方向成分の分布を示すと第5図および第6図のようになる。点線は第1報で示した理論速度分布である。A 型では外壁側で流速が減少し、中心側で増大し、全体として流れが中心付近に集中する傾向を示している。これは外壁側では $\beta = \pi/2$ の部分が長いために圧力が高いままに維持され、これに反し中心側では流れが早く曲げられたために圧力が急激に降下し、そのため遠心力に釣合うべき圧力よりも外壁側では高くなり過ぎ、中心側では低いために、exducer の中で外壁側から中心側に向う流れを生じ、流れが中心に集中した結果である。これに対し遠心力に釣合う圧力勾配を与えるように、B 型のように外壁側で早く羽根を曲げて圧力を下げ、中心側では圧力を高く保つためにおそく曲るようすれば、大体設計通りの速度分布を与えることができる。(1957.9.16)