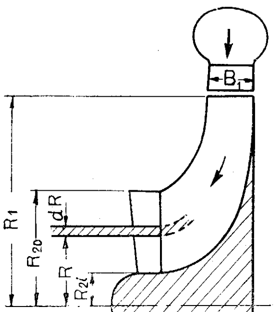
研　究　速　報

ラジアルガスタービンの研究（第 1 報）

——最大効率を出すための条件について——

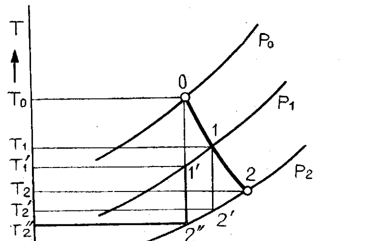
水　町　長　生

最大効率を与えるラジアルタービンはいかに設計すべきかを明らかにするために，タービン内のガスの流れについて理論的考察を行った．タービンの羽根の形としては，彎曲羽根および直線放射状羽根が考えられるが，この種のタービンは回転数が非常に高くなるために彎曲羽根では強度上困難であり，かつ工作が容易でない．そこでここではまず直線放射状羽根について研究した．しかし羽根の出口部分には exducer を設けて，軸心を中心とする流出ガスの回転運動はなくなるようにする．以上の直線放射状羽根について，ガス流量およびタービン全膨脹比が与えられた場合に，最大効率を出すタービンの主要寸法すなわちノズル角，羽根外径，羽根入口幅，羽根出口外径，羽根出口内径，exducer の出口角度および回転数などの決め方について理論的に明らかにした．さらにラジアルタービンとしては，いかなるガス流量および膨脹比が適しているかについて一般的に考察した．



第　1　図

1.　タービン内のガスの流れ方　第1図に示すようなタービンにおいて，タービンの各点における状態を T—S 線図で示すと第2図のようになる．P_0 はタービン入口圧力，P_1 はノズル出口圧力，P_2 はタービン出力圧力である．



第　2　図

各点における絶対速度を c，相対速度を w，周速を u で表わす．流量 G を無次元数にて表わすために，タービン入口におけるガスの音速を a_0，密度を γ_0 とし，次式で示されるような無次元量 q を採用する．

$$q \equiv \frac{G}{2\pi R_1^2 a_0 \gamma_0} = \varphi\sqrt{\frac{2}{k-1}}\,\varepsilon_1 \frac{B_1}{R_1}\sin\alpha\,\frac{P_1/P_0\sqrt{1-s}}{1-\varphi^2\,(1-s)} \tag{1}$$

φ，ε_1，α はそれぞれノズルの速度係数，流量係数，ノズル角であり，$s=(P_1/P_0)^{\frac{k-1}{k}}=T_1'/T_0$ である．

次にタービン出口の任意の半径 R における微小半径 dR を通るガスにおいて，羽根入口および出口について，次のエネルギの式が成立する．

$$w_1^2/2g+Ji_{12}'=w_2^2/2g+(U_1^2-u_2^2)/2g+\rho_1 w_1^2/2g+\rho_2(w_1^2+w_2^2)/2g+\rho_3 w_2^2/2g \tag{2}$$

この式を無次元量で書き直すと

$$2\theta/(k-1)=1/\phi_2^2\cdot(w_2/a_0)^2+(1+\phi_1^2)(U_1/c_0)^2-(u_2/c_0)^2 \tag{3}$$

ただし

$$\theta=1-\varphi^2(1-\phi_1^2)(1-s)-(P_2/P_0)^{\frac{k-1}{k}}\{(1-\varphi^2)/s+\varphi^2\}$$

以上の式で ρ_1，ρ_2，ρ_3，ϕ_1，ϕ_2 はすべて羽根各部における損失係数である．

次にノズルを通る流量と羽根を通る流量は等しいから両者について連続の式を適用し次式を得る．この場合羽根を通る流量は羽根出口において，各半径 R における微小流量 dG を出口全半径について積分して求める．

$$\frac{B_1}{R_1}=\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\frac{\sqrt{1-\phi_2^2}}{3}\left(\frac{R_{20}}{R_1}\right)^3\frac{P_2}{P_0}\frac{T_0}{T_{2m}}\frac{1}{\tan\alpha}\{1-\varphi^2(1-s)\}\frac{P_0}{P_1}\times\left[\left\{\left(\frac{a}{R_{20}}\right)^2-\left(\frac{R_{2i}}{R_{20}}\right)^2\right\}^{\frac{3}{2}}-\left\{\left(\frac{a}{R_{20}}\right)^2-1\right\}^{\frac{3}{2}}\right] \tag{4}$$

ただし，

$$a^2=R_1^2\frac{2\theta/(k-1)\cdot(a_0/U_1)^2-(1+\phi_1^2)}{1/\phi_2^2-1}$$

ε_2 は羽根の流量係数である．

このときの内部効率 η_i は

$$\eta_i=\frac{(k-1)(U_1/a_0)^2}{1-(P_2/P_0)^{\frac{k-1}{k}}} \tag{5}$$

正味効率 η_e = は羽根の disc friction を差引き

$$\eta_e=\eta_i(1-4.68\times10^{-4}k\cdot1/q\cdot\gamma_1/\gamma_0\cdot U_1/a_0) \tag{6}$$

しかして

$$U_1/a_0=\varphi\sqrt{2(k-1)}\cos\alpha\cdot\sqrt{1-s}$$

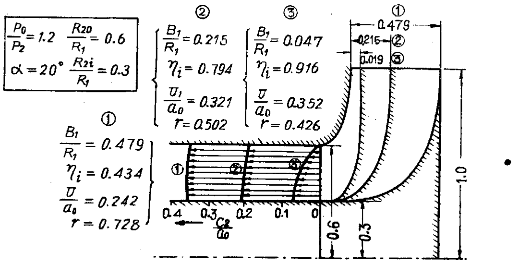
$$\gamma_1/\gamma_0=1\Big/\frac{P_0}{P_1}\{1-\varphi^2\{1-s)\}$$

反動度 r は

$$r=1-(1-s)/\{1-(P_2/P_0)^{\frac{k-1}{k}}\}$$

以上の諸式において，P_0/P_2，α，B_1/R_1，R_{20}/R_1，R_{2i}/R_1 の5個の無次元量が独立変数であって，これらを与えることによってタービン各部の状態が決定され，効率および反動度が求まる．しかして流量を表わす無次元量

q は，B_1/R_1，α，s のみの函数であるから，(1)式で表わされる無次元量 q を用いれば，G は違っていても q が同一である限り羽根の形状は相似となり，かつ同一反動度，同一効率を与えることがわかる．



第 3 図

2. 最大効率を得るための条件 最大効率を与えるときの羽根の形状は，第3図の③の場合であって，このときの羽根出口の速度分布は同図の③のようになり，羽根出口外径において $c=0$，羽根出口角 $\beta_2=0$ となる．このときの羽根入口幅 B_1 よりも，さらに小さくすると羽根出力外径で逆流がおこり，また大きくすると，流出損失が増大し，いずれの場合も効率が低下する．この最大効率を与えるときの条件は次のようになる

$$\frac{B_1}{R_1}=\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\frac{\sqrt{1-\psi_2^2}}{3}\frac{P_2}{P_0}\frac{T_0}{T_{2m}}\frac{1}{\tan\alpha}\{1-\varphi^2(1-s)\}\frac{P_0}{P_1}\left\{\left(\frac{R_{20}}{R_1}\right)^2-\left(\frac{R_{2i}}{R_1}\right)^2\right\}^{\frac{3}{2}} \tag{7}$$

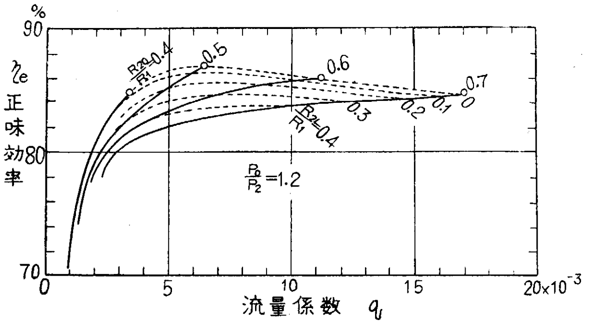
$$\cos^2\alpha=1/\varphi^2\left\{\left(\frac{1}{\psi_2^2}-1\right)\left(\frac{R_{20}}{R_1}\right)^2+(1+\psi_1^2)\right\}\cdot\left[\frac{1}{1-s}-\varphi^2(1-\psi_1^2)-\left(\frac{P_2}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}\left\{\frac{1}{s(1-s)}-\frac{\varphi^2}{s}\right\}\right] \tag{8}$$

このときの Exducer の出口角 β_2 は

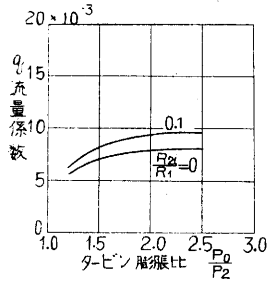
$$\tan\beta_2=\sqrt{1-\psi_2^2}\sqrt{(R_{20}/R_1)^2-1} \tag{9}$$

この最大効率を与えるときの効率をタービン膨脹1・2の場合について計算すると第4図のようになる．流量を比表わす無次元量 q を 5～10 位にとれば，正味効率87～88%を得ることができる．従来のこの型式のタービン効率が 80～82% であるのに較べ，以上の条件を満足するように設計すれば，はるかに高い効率を期待することができることがわかる．

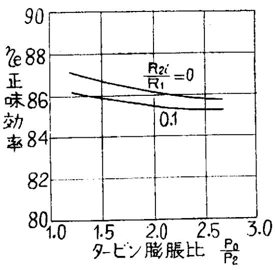
3. 最大効率を与えるタービンの大きさと回転数 以上のようにして，あるタービンの全膨脹比 P_0/P_2 に対して，q を適当にとり，以上の条件を満足するように設計すれば，その膨脹比において達し得る最大効率を得ることができる．この q の値を第5図に示し，このときの η_e，を第6図に示す．ガス温度 800°C の場合について，最大効率を与えるタービンの羽根直径および回転数を第7, 8 図に示す．parameter は正味出力である．これでわかるように，回転数が非常に高くなり，特に大出力タービンでは直径の大きい羽根を 30,000～40,000r. p. m. の高速回転で廻すことになり，強度的に困難になる．したがってラジアルタービンは小出力タービンに適していることがわかる．(1956. 6. 3.)



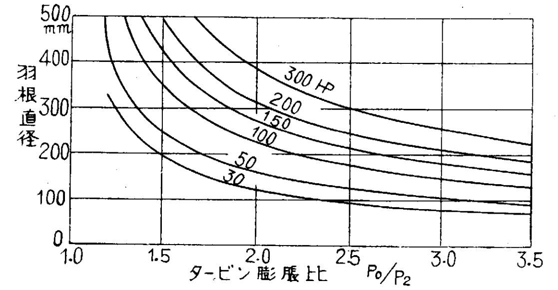
第 4 図



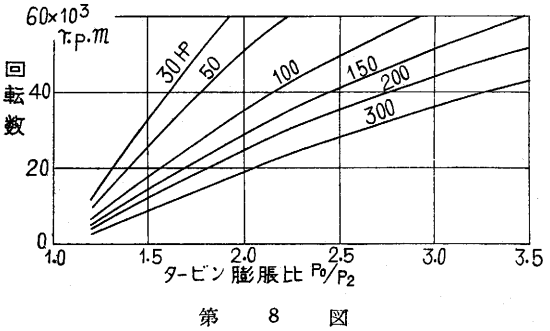
第 5 図



第 6 図



第 7 図



第 8 図