

ラジアルタービン用ノズルの研究

—高膨張比におけるノズル特性—

A Study of Nozzle in Radial Gas-Turbine
—The Nozzle Characteristics of High-Expansion—

松谷 敏 史・遠 藤 敏 彦・水 町 長 生

—Toshifumi MATSUYA, Toshihiko ENDO and Nagao MIZUMACHI—

1. まえがき

ラジアルタービン用円周ノズルの研究は数少なく、さきに筆者の一人は理論的および実験的な研究を行ない、低膨張比におけるノズル設計法を明らかにした¹⁾²⁾。すなわち低膨張比において流出角は翼列写像法により簡単に見いだされ膨張比に無関係にほとんど一定である。しかし高膨張比になると、ある膨張比を境に流出角は膨張比の増大に伴い大きくなる³⁾。本論文は高膨張比において流出角が膨張比の増大とともに大きくなる原因を究明するとともに、高膨張比におけるノズル出口の流動状況を明らかにし、高膨張比におけるノズル設計法を求めることを目的とする。

2. 実験装置および実験方法

ノズル内および出口部分のガス流動状況を詳細に知るため図1に示すような円周ノズルの一部を拡大した実験装置を用い実験を行なった。ノズル取付角 12°, 16°,

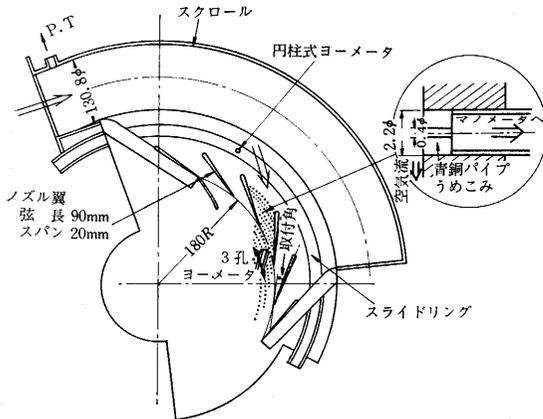


図1 実験装置

20°, 24° の4種類の場合について、それぞれ膨張比をかえて実験した。各ノズル取付角におけるのど部長さは次のとおりである。

取付角	12°	16°	20°	24°
のど部長さ	17.6 mm	21.0	24.5	28.1

図2にノズル翼を示す。ノズル入口全圧 P_{1i} はノズル入口スライドリング上に設けた円柱式ヨーメータによ

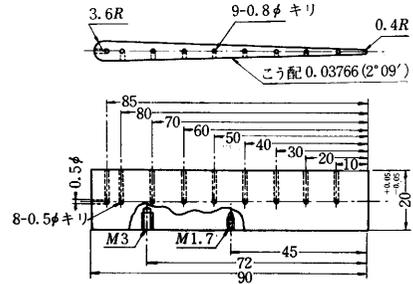


図2 ノズル翼

り円周方向に移動させ、各点の全圧を測定した。またノズル部翼幅方向の静圧変動は少ないと仮定し、ノズル内および出口部に数多くの壁面静圧孔を設け静圧分布をしらべた。さらにノズル出口部において、あらかじめ検定した3孔式アローヘッド型ヨーメータ⁴⁾をノズルピッチ間9点円周方向に移動し、各点の流出角 α_{2i} とマッハ数 M_{2i} を求めた。図3にヨーメータ頭部の詳細を示す。

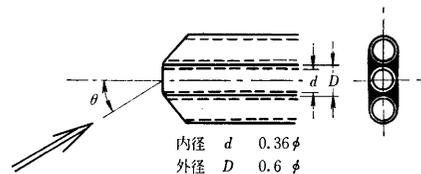


図3 3孔アローヘッド形ヨーメータ

ノズル1ピッチ間を9分割し、ノズル入口全圧 P_{1i} (同一半径上は一定) から各分割点ノズル出口静圧 P_{2si} まで膨張したときの膨張比 P_{1i}/P_{2si} 、流出速度 C_{2i} 、流出角 α_{2i} 、速度係数 ϕ_i を考える。流出速度 C_{2i} はヨーメータによる測定値と次の4式より求まる。

$$P_{2si}/P_{1i} = \left(1 + \frac{k-1}{2} M_{2i}^2\right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (1)$$

$$T_{2si}/T_{1i} = \left(1 + \frac{k-1}{2} M_{2i}^2\right) \quad (2)$$

$$T_{2si} = T_{0i} \quad (3)$$

$$C_{2i} = \sqrt{g k R T_{2si} M_{2i}} \quad (4)$$

上式において、 P_{2si} はノズル出口 i 区分目の全圧で、 T_{0i} 、 T_{2si} 、 T_{2si} は渦巻室入口全温度、ノズル出口 i 区分

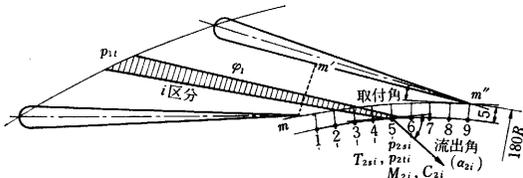


図4 ノズル1区分測定位置

目の全温度、ノズル出口 i 区分目の静温度である。また、 g は重力の加速度、 R はガス常数、 k はガスの断熱指数である。速度係数 φ_i は、流出速度 C_{2i} とノズル入口全圧 P_{1i} から出口静圧 P_{2si} までエントロピ一定で膨張したときの速度 C_{2i}' との比である。

$$C_{2i}' = \sqrt{2gJC_p T_{0i} \left[1 - \left(\frac{P_{2si}}{P_{1i}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \quad (5)$$

$$\varphi_i = C_{2i} / C_{2i}' \quad (6)$$

ただし J は熱の仕事当量、 C_p は空気の定圧比熱とする。

3. 実験結果とその考察

取付角 12° 、膨張比 1.543 および 1.122 の場合のノズル内等圧線分布と翼面静圧分布およびノズル出口状態量分布の一例を図5, 6, 7に示す。ノズルのど部 $m-m'$ でガスは曲げられノズル後縁付近では圧力こう配はげしく、ノズル高压側より低压側へ等圧線が入りこみ

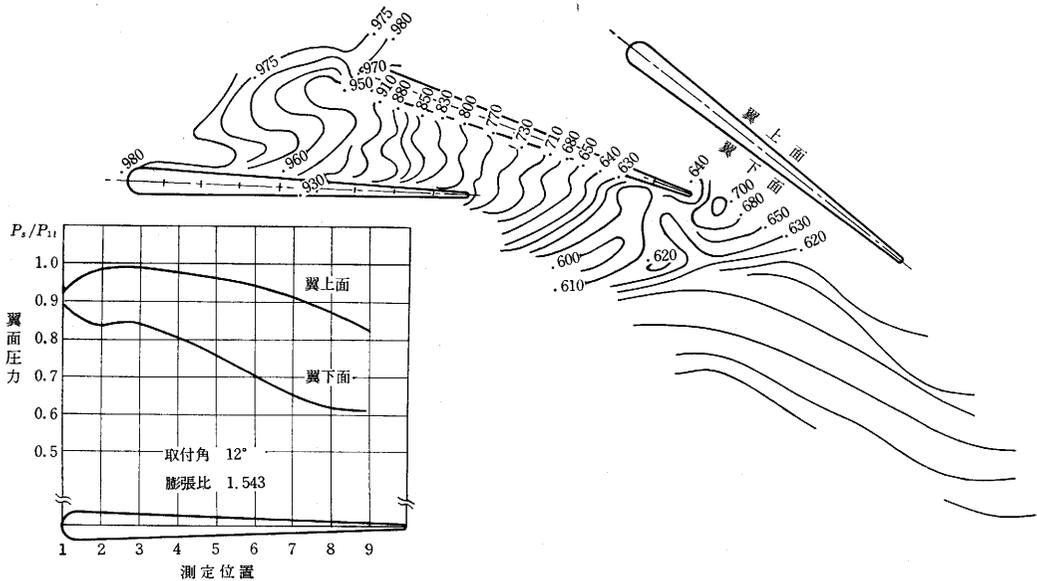


図5 ノズルおよびノズル翼面静圧分布 P_s/P_{1i} 、取付角 12° 膨張比 1.543

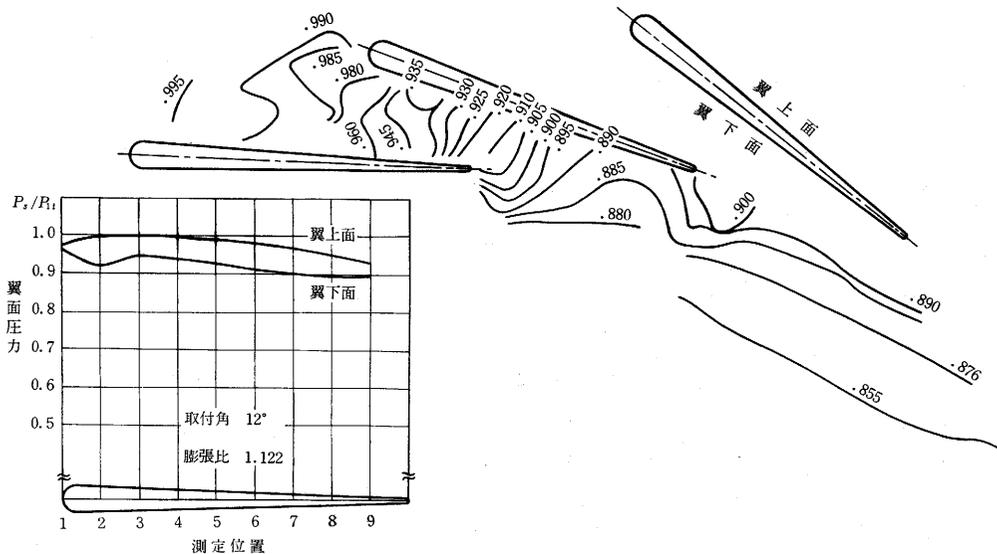


図6 ノズルおよびノズル翼面静圧分布 P_s/P_{1i} 、取付角 12° 膨張比 1.122

研究速報

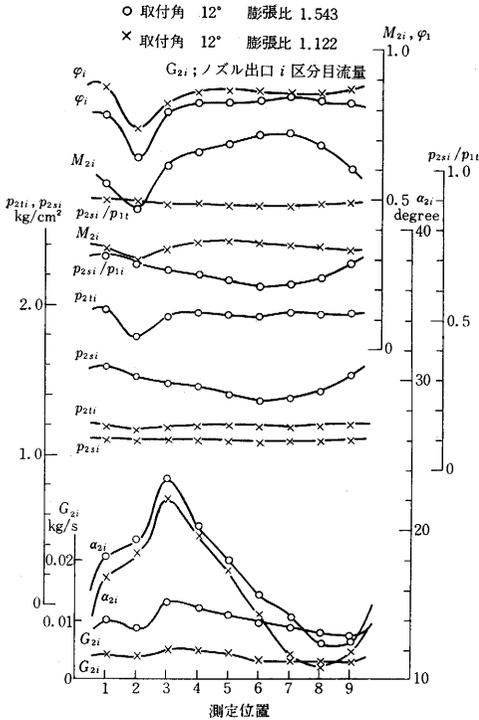


図7 ノズル出口状態量分布

$m'-m''$ では静圧こう配が正の領域を生じ m'' 近くで剝離に似た現象がおきている。したがって m'' 後方の全圧低下がみられる。また流出角は、 m から m'' にくにしたがって減少し m'' 近くで再びふえはじめ m 近傍で一番流出角が大きい。これらの現象は、膨脹比が大きいほど著しい傾向を示している。また、取付角 24° 膨脹比 1.285 について、ノズル翼幅方向の諸分布を調べたところ、二次流れの影響がみられ壁面近くにしたがい流出角は大きくなり、全圧分布は m'' 近傍の翼幅中央部で一番低下をきたしている。ノズル設計にはノズルピッチ間の平均流出角 α_2 、平均速度係数 ϕ が必要である。ノズル翼幅中央部における平均流出角 α_2 および平均速度係数 ϕ の一例を図8および図9に示す。連続の関係と角運動量保存則から求めたものである。した

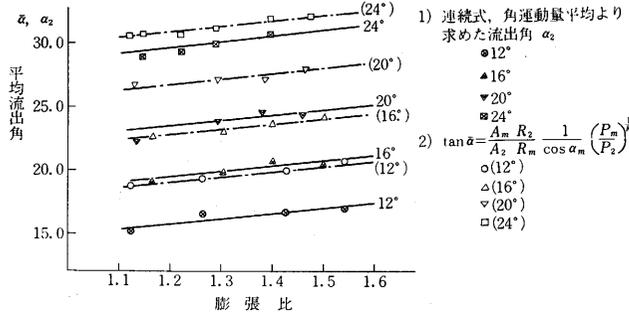


図8 平均流出角

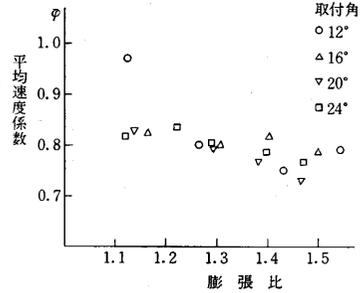


図9 平均速度係数

がって二次流れによる影響を考えず、二次元流と仮定して考えたため、翼幅方向を含む平均値より小さい値が示されている。しかし、トルク測定法による結果³⁾に近い値となっている。また、平均流出角 α_2 は膨脹比に比例して大きくなり、そのこう配はノズル取付角によらず一定である。これは図10に示すごとく検査面 $m-m'$ $m''-2'$ について考えた平均流出角 $\bar{\alpha}$

$$\tan \bar{\alpha} = \frac{A_m R_2}{A_2 R_m \cos \alpha_m} \frac{1}{\left(\frac{P_m}{P_{2z}} \right)^{\frac{1}{k}}}$$

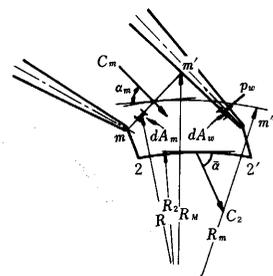


図10 ノズル出口の検査面

と同一こう配であることも注目すべきで、今後の研究すべき点である。上式において、 P_{2z} はノズル出口静圧、 P_m はノズルのど部静圧である。また A_2 はノズル出口1ピッチ間断面積、 A_m はノズルのど部断面積、 R_2 はノズル出口測定部半径、 R_m はノズルのど部中心の半径、 α_m はノズルのど部の流れ方向である。

速度係数については、膨脹比が大きくなるにしたがい流出角が大きくなり、ノズル後縁付近のエネルギー損失すなわち全圧低下域が生ずるため、速度係数は低下する傾向にある。
(1968年7月27日受理)

参考文献

- 1) 水町長生 “ラジアルガスタービンの研究” 東京大学生産技術研究所報告第8巻1号
- 2) 水町長生他 “ラジアルガスタービン研究分科会研究成果報告書” NO. 2-1, NO. 2-2, 日本機械学会(1964. 2, 1967. 4)
- 3) 水町長生, 山下雄康 “高膨脹比におけるラジアルタービン用ノズルの特性” 生産研究 19, 6.
- 4) 北野正夫 “5孔ピトー管における圧縮性の影響” 生産研究 17, 5.