

# ラジアルタービンの動翼内流れの三次元数値解析

(第2報, 翼端隙間近傍の流れとタービン効率について)

Three Dimensional Flow Analysis in a Radial Turbine Rotor

(Part 2: Flow Field near Tip Clearance and Turbine Efficiency)

土 屋 直 木\*・吉 識 晴 夫\*

Naoki TSUCHIYA and Haruo YOSHIKI

## 1. は じ め に

## 2. 計算結果及び考察

ラジアルタービンは過給機や小型ガスタービンで幅広く用いられているにもかかわらず、動翼内流れの詳細についてはあまり明らかになっていない。翼端隙間からの流れについては、単純な静止翼列に対しての研究は精力的に行われ、詳細な様子も明らかになりつつあるが、ラジアルタービンについては最近のわずかな報告例<sup>1,2)</sup>があるのみで、未だほとんど明らかになっていない。前報では、実験結果との比較と動翼内二次流れに与える翼端隙間の影響について述べた。本報では、さらに隙間幅を変化させた計算を行い、隙間幅の違いによる翼端隙間流れの様子と隙間幅のタービン効率に与える影響について述べる。

基礎方程式及び数値解法は前報と同様であるので、詳しくはそちらを参照していただきたい。

前報で報告した隙間なしと隙間1mmの場合以外に、隙間幅0.25mm, 0.5mm, 0.75mmについての計算を行った。計算格子数は0.75mmと0.5mmの場合は1mmと同じであるが、0.25mmの場合は隙間部のスパン方向格子数を減らしてある。

図1はタービン入口部にあたるJ=42面の翼端隙間近傍の流れと静圧分布について、隙間1mmと0.25mmの結果を比較したものである。拡大表示しているのは0.25mmの隙間部である。図中の速度ベクトルは、相対速度ベクトルから主流方向成分を引きJ面に投影したもので、前報の二次流れベクトルと同じ求め方である。隙間1mmでは、ケーシング壁の相対運動によりケーシング壁に引きずられた流れと流れが、負圧面(SS)側の隙間出口付近で衝突し、速度のピッチ方向成分を打ち消し合っている。衝突

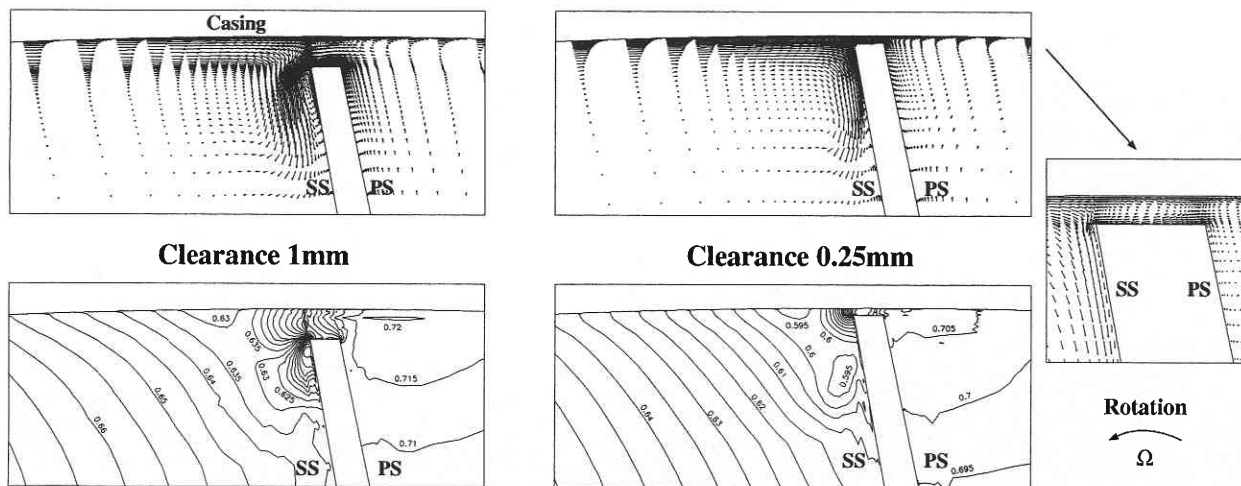


図1 J = 42 面における翼端隙間近傍の流れと静圧分布

\*東京大学生産技術研究所 第2部

位置はケーシング壁から遠ざかるにつれて、隙間から離れている。流れは、この衝突ラインと負圧面先端の隙間から流出しているといえる。流れは、ケーシング壁に引きずられ負圧面上に回り込む流れ (scraping flow) の影響で、負圧面に沿った流れとなっている。流れ (leakage jet) と負圧面の間には、剥離泡のような低圧力領域が生じている。ケーシングに引きずられた流れのうち隙間に流入するのは一部で、多くは流れをブロックした後ハブ方向へ向かい、scraping flow を形成している。隙間 0.25 mm では、ケーシング壁に引きずられた流れは、流れに影響されることなく負圧面上で scraping flow を形成している。隙間幅が小さく流れはほとんど発生していないため、1 mm の場合のような負圧面上の低圧力領域は見られない。ケーシング壁に引きずられた流れの一部は隙間に流入しているが、隙間幅が小さいため、隙間幅の半分近くを占めることになっている。

図 2 はタービン中央部にあたる  $J = 54$  面の隙間近傍の流れと静圧分布について、隙間 1 mm と 0.25 mm の場合を比較したものである。拡大表示しているのは 0.25 mm の隙間部である。隙間 1 mm については、 $J = 42$  面とは異なり流れが完全に流れ場を支配している。これは両翼面間の圧力差が増加したこと、ケーシング半径の減少により scraping flow が弱まったことが考えられる。流れは隙間入口部の圧力面 (PS) 側で増速を始めており、静圧は

隙間入口部で急激に減少している。隙間内の翼先端面と流れの間には、剥離泡が発生しており、これは静止翼列の翼端隙間流れの実験で多く確認されている現象である。翼厚さに対する隙間幅が大きいため、流れは翼先端壁面に再付着せず、剥離泡は翼先端面全体に渡っている。隙間内の流れは、ケーシング壁に押し付けられたような流れとなっており、壁に引きずられる流れはほとんど見られない。隙間出口では scraping flow に比べて流れが強く、leakage jet はハブ方向に曲げられてはいるものの、流出方向は負圧面から遠ざかっている。これによって leakage jet と負圧面間の低圧力領域は拡大している。この低圧力領域には負圧面上をケーシングへ向かう流れが流入しており、圧力勾配が急なところでは増速も見られる。leakage jet と合わせると一つの渦を形成しており、こうして渦が形成されると考えられる。隙間 0.25 mm では、隙間幅が小さいために依然として scraping flow が流れ場を支配しているが、流れも現われ始めている。隙間から流れの流出する様子は、 $J = 42$  面の隙間 1 mm の場合に似ているが、流れの増速がすでに隙間入口部から始まっている点異なる。翼先端面の圧力面側では 1 mm の場合と同様に剥離泡が見られるが、すぐに翼先端面に再付着している。leakage jet と負圧面の間には、 $J = 42$  面の隙間 1 mm の場合と同じく低圧力領域が存在している。

図 3 はタービン出口付近である  $J = 78$  面の隙間近傍の

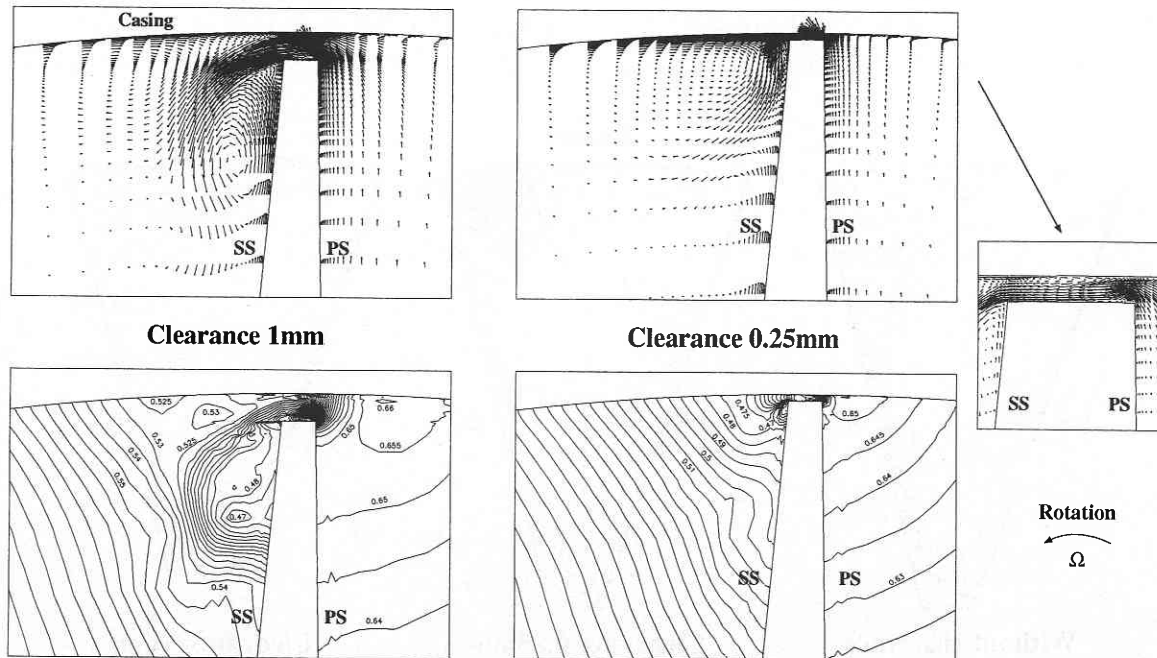


図 2  $J = 54$  面における翼端隙間近傍の流れと静圧分布

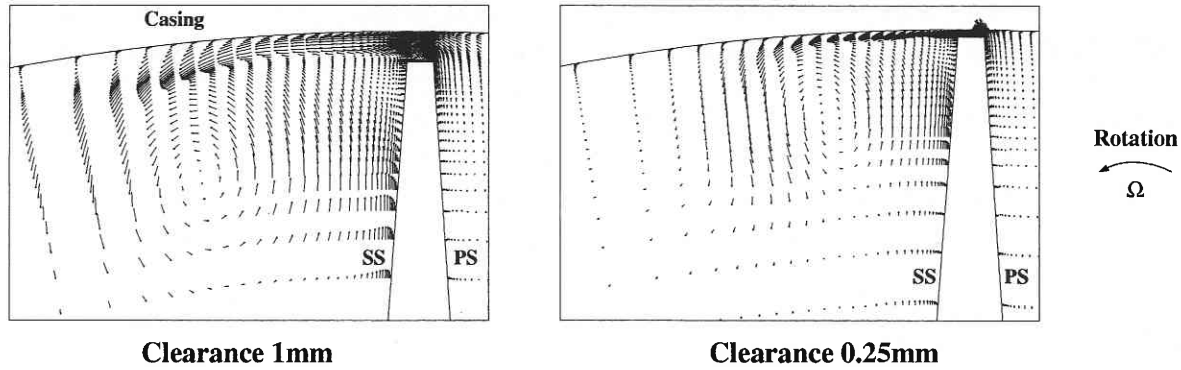


図3 J = 78 面における翼端隙間近傍の流れと静圧分布

流れについて、隙間 1 mm と 0.25 mm の場合を比較したものである。隙間 1 mm では、漏れ渦が負圧面付近から大きく移動しており、原因は次のように考えられる。J = 54 面付近から出口にかけて、翼は回転と反対方向に大きく転向し、それに従って翼間流れも転向している。しかし翼の転向の影響は、隙間部にまで直接は及ばない。このため翼の転向が進むにつれて漏れ渦と翼の間の距離は広がり、漏れ渦は翼から遠ざかっていく。直感的には、図 2 の J = 54 面から図 3 の J = 78 面にかけて翼が回転と反対方向、つまり図中で左から右方向に移動したと考えるとわかりやすい。渦中心と負圧面との広がった空間は、J = 54 面で負圧面上をケーシングへ向かっていた流れがピッチ方向に引き伸ばされることで埋められている。漏れ流れは隙間出口以降ですぐにハブ方向に向かわず、しばらくケーシング壁に沿って流れている。この助走区間が生じたのも翼が右に移動したためと考えることができる。隙間 0.25 mm につい

ても、J = 54 面から J = 78 面にかけて翼が右に移動したと考えると直感的にわかりやすい。J = 54 面の負圧面上の低圧力領域はピッチ方向に引き伸ばされ、ハブ方向からの流れ込みが起きている。漏れ流れは 1 mm のときと同様、しばらくケーシング壁に沿って流れた後ハブ方向へ向かっており、その位置は J = 54 面の scraping flow の後流に相当する。ハブ方向へ向かう流れの多くは流路内部又は圧力面方向に向かっており、負圧面に向かって渦を形成する流れは比較的少ない。

図 4 はタービン出口面 (J = 93 面) の静効率分布を、隙間なし、隙間 0.25 mm、隙間 1 mm の結果について比較したものである。熱落差の基準は流入境界とし、それぞれの格子点ごとに効率を算出して等値線で表わしている。すべての場合において、流路中央部から圧力面にかけての広い範囲で 0.9 の効率を示している。圧力面-ケーシングコーナー付近とハブ付近では、一部で 0.95 の部分が見られる。

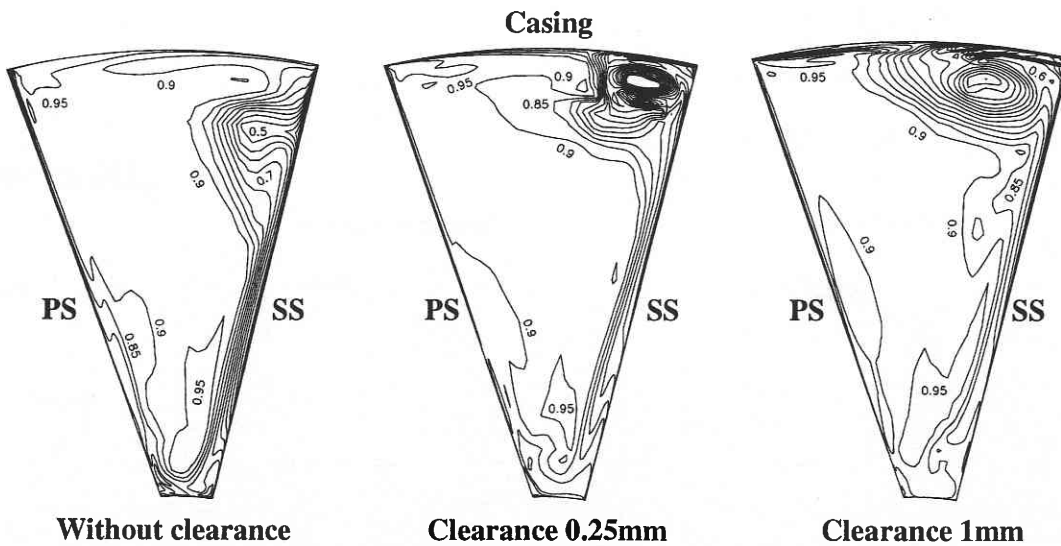


図4 タービン出口面における静効率分布の比較

これに対して、ハブ壁面から負圧面にかけては効率が低くなっている。負圧面上の効率低下は境界層が主な原因と考えられ、隙間幅が小さいほど効率の低い領域が増加している。負圧面-ケーシングコーナー付近は、流れ場の様子を反映している。隙間なしでは、scraping flow と負圧面上をケーシングに向かう流れがぶつかる地点を中心として低効率領域が広がっている。隙間 1 mm では、負圧面-ケーシングコーナーからケーシング壁面に沿っての広範囲で流れ渦を中心に効率の低い領域となっている。隙間 0.25 mm では、scraping flow の後流の様子ははっきりと表れている。

scraping flow と負圧面に挟まれた部分は、流れ渦を中心に低効率領域となっており、渦中心には熱の仕事をしていない部分が存在している。

図 5 はタービンの全効率 ( $\eta_{T-T}$ ) と静効率 ( $\eta_{T-S}$ ) の翼端隙間幅による変化である。効率はタービン出口面 ( $J = 93$  面) における保存量の面内平均値から求めている。静効率は、隙間幅の減少に伴い高くなる傾向にあるといえる。中でも 0.5 mm から 0.25 mm にかけては大きな効率向上が見られる。出口の流れ場に大きな影響を与える  $J = 54$  面付近の流れ場は、隙間 1 mm から 0.5 mm までは流れ渦が支配的であるのに対して、0.25 mm では scraping flow が支配的となっている。図 4 の 0.25 mm で見られるように scraping flow が支配的な場合、scraping flow は低効率領域が広がるのを防ぎ、高効率領域を広く保つ役割を果たしている。これが 0.5 mm から 0.25 mm の大きな効率向上の一因であると思われる。負圧面上の低効率領域は、隙間が小さくなるにつれて増加する傾向にあるが、この領域の流出速度は小さいため、出口面平均効率への寄与は少ないと見られる。全効率も隙間幅の減少に伴い高くなる傾向にあり、隙間 0.25 mm では隙間なしよりも高い効率となっている。

## 6. 結 論

ラジアルタービンの動翼内流れについて翼端隙間幅を変

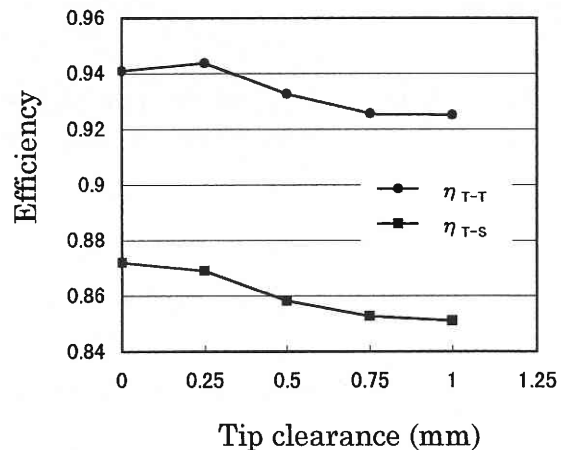


図5 タービン効率の翼端隙間幅による変化

化させた計算を行い、次の結論を得た。

- (1) 翼端隙間流れの様子と隙間幅による変化を明らかにすることができた。翼端隙間近傍の流れ場は、動翼入口部ではケーシング壁の相對運動の影響を受ける。動翼中央部の流れの様子には後流の流れ場に大きく反映されており、出口部では翼の轉向により中央部の負圧面付近の流れが負圧面から遠ざかるとみられる流れ場となっている。
- (2) タービン効率は隙間幅が小さくなるにつれて向上する傾向にある。中でも 0.5 mm から 0.25 mm にかけて大きな効率向上が見られるのは、 $J = 54$  面付近で scraping flow が支配的となり、出口においても高効率領域が広く保たれることが関係していると思われる。

(1998年9月24日受理)

## 参 考 文 献

- 1) Dambach, R., Hodson, H.P. and Huntsman, I., ASME Paper, 98-GT-467, (1998).
- 2) Amedick, V. and Simon, H., ASME Paper, 97-GT-90, (1997).