

ガスタービン冷却系の中空軸部分での旋回流による静圧降下

岸部 忠晴* 梶 昭次郎**

Static pressure drop by swirling flow
of an internal cooling air system
through a turbine shaft

by

TADAHARU KISHIBE, SHOJIRO KAJI

Tokyo University

ABSTRACT

High thermal efficiency of the gas turbine is dependent on high turbine entry temperature, which is limited by the turbine blade and nozzle guide vane materials. Cooling these components with internal air system allows their environmental operating temperature to exceed their melting point. The cooling air is taken from the compressor and passes through in the hollow turbine shaft.

Generally, it is assumed that any troublesome phenomenon by swirling flow does not occur if the cooling air enters the hollow shaft with the relative tangential velocity equal to zero, i.e., the absolute tangential velocity equal to the circumferential speed of the shaft at the air inlet. In this calculation for an internal cooling air system, however, it is observed that unexpectedly even the relative tangential velocity grows as the rotational speed of the shaft increases, and as a result, static pressure drops remarkably.

* 東京大学大学院

** 東京大学工学部航空宇宙工学科

1. 序

ガスタービンの高効率化のためにはタービン入口温度を上げる必要がある。その際タービン翼を冷却する必要が生じ、この冷却空気はコンプレッサーからタービンまで中心軸内の中空部分を経由して運ばれる。一般に旋回成分を含む流れは半径が小さくなると静圧が降下することをはじめ様々な現象を引き起こすが、従来この中心孔内の冷却空気は相対周方向速度を持たないように導入すれば、旋回流による現象は発生しないと考えられていた。この仮定のもとに冷却空気的设计は行われているが、実際には設計どおりにいかないことが多かった。

今回の計算で、予想以上に旋回成分が発達していること、その結果無視できないほど静圧が降下していることを発見した。

2. 計算

計算領域は、図1のように、実際のガスタービンに使用されている冷却系のインデューサ出口から、ディフューザまでである。このうちインデューサ出口を計算領域の入口境界とし、ディフューザ出口を出口境界とした。また、計算上の便宜と渦心を計算領域に含ませるために、計算領域を中心孔部とディフューザ部②に分け、さらに中心孔部を、中心軸近傍③と外周部①に分けた。領域①②は円筒座標系、領域③はデカルト座標系の基礎方程式を解く。今回の計算では、軸対称と仮定して円筒座標系の領域①②では θ 方向に格子を取らず、二次元格子で解いた。領域③は三次元格子である。各領域接続部は一重に重複してある。ちなみに中空軸の内径は40mmで、入口境界は半径が65mmのところにある。

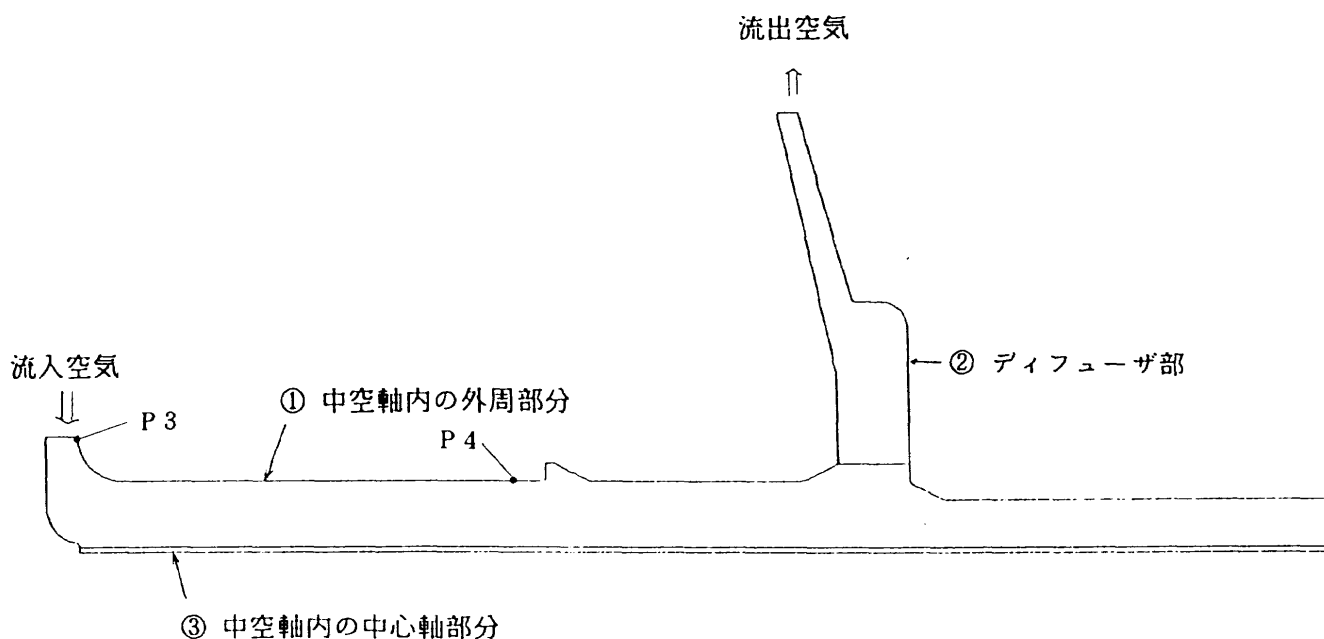


図1 計算領域

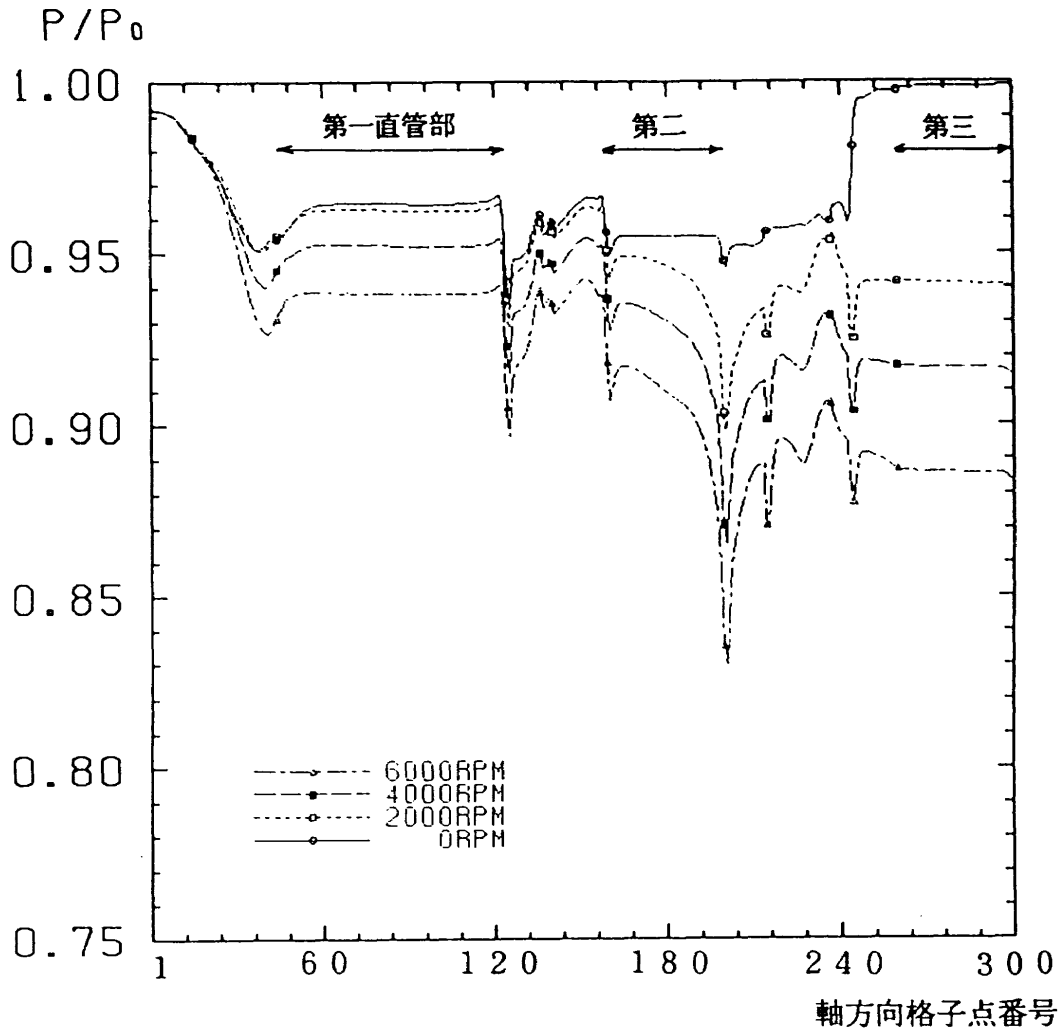


図2 壁面圧力分布

基礎方程式はNS方程式であるが、乱流粘性は入れず、層流粘性のみで計算している。

計算にはTVDを用い、陰解法で解いた。ローカルタイムステップを利用し、CFL数を領域①②で5、領域③で20にして計算した。

計算条件は、入口全圧3.0ata、流量1.0kg/sであり回転数をパラメータとし、0rpmから6000rpmまで2000rpmごとに4つ取った。入口境界では、回転に対する相対流入角を0°にしている。出口の静圧を調節することで、流量を計算条件に合わせている。

計算格子点数は、領域①が40×1×300、領域②が101×1×23、領域③が9×9×300で合計すると約38,000点である。

3. 結果

流量を計算条件に合わせて、出口の静圧を調

節した。各回転数に対して与えた出口静圧と、そのときの流量を表1に示す。

表1 各回転数の出口静圧と流量

回転数	出口静圧	流量
0	2.760	1.009
2000	2.715	0.9924
4000	2.664	0.9994
6000	2.609	1.00004

図2に、各回転数の中心孔の壁面静圧分布の結果を示す。縦軸は、静圧を入口全圧で無次元化したものであり、横軸は軸方向の格子点を順番どおりに配置したものである。グラフ上の○□などの記号は、格子形状の変わり目の位置を示す。

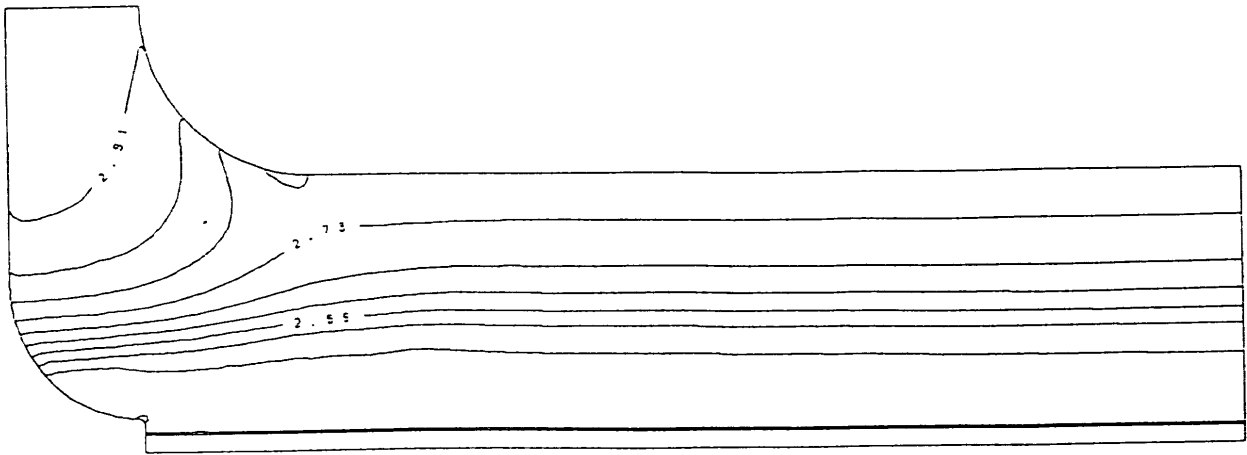


図3. 1 入口付近の静圧分布

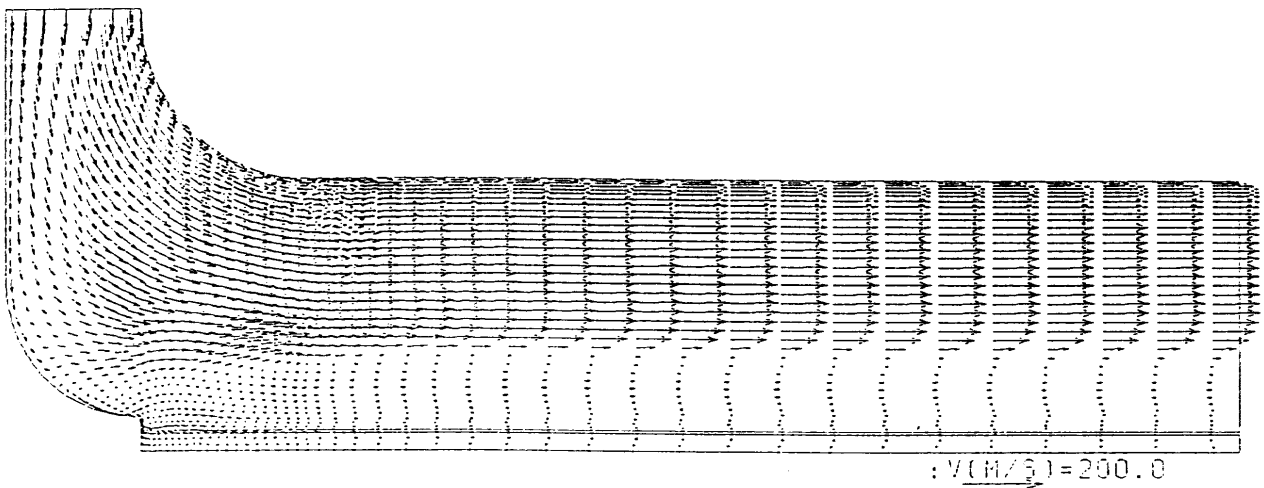


図3. 2 入口付近の速度ベクトル

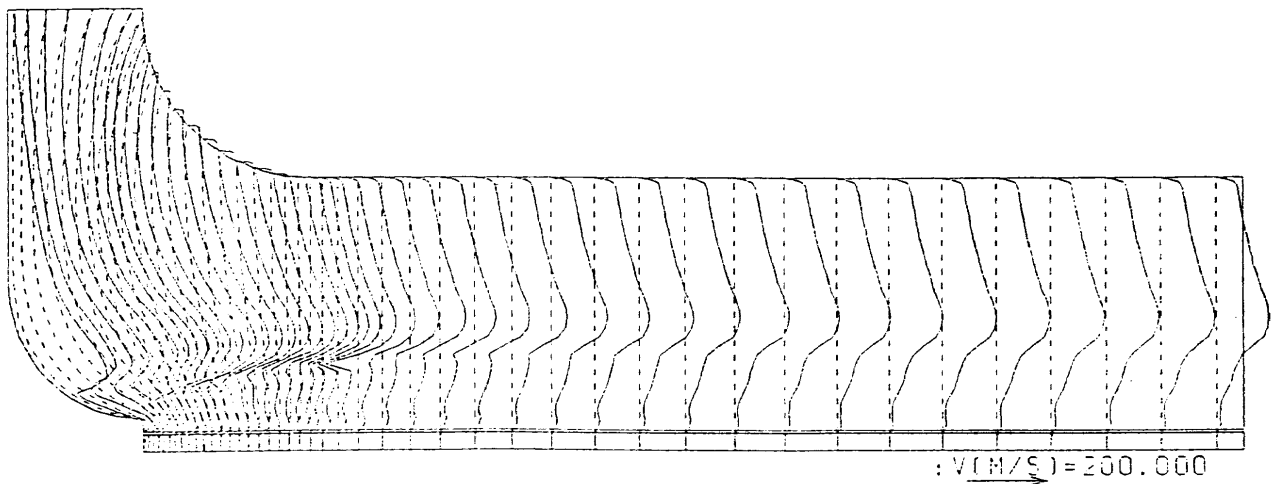


図3. 3 入口付近の周方向速度分布