ガスタービン翼の内部冷却流路リターン部における
伝熱・流動改善手法に関する研究Improvement of Heat Transfer and Pressure Loss
in Internal Cooling Return Passage of Gas Turbine Blade○学 野玉 健太 (阪工大院)
正 川田 裕 (阪工大)

毛利 充敬 (カワサキマシンシステムズ)

Kenta NODAMA, Osaka Institute of Technology, 5-16-1, Omiya, Asahi-ku, Osaka
Mitsutaka MOURI, Kawasaki Machine Systems, 509-1, Tsuchiyama, Hiraoka, Kakogawa
Yutaka KAWATA, Osaka Institute of Technology, 5-16-1, Omiya, Asahi-ku, Osaka

The cooling technology for the high temperature gas turbine blade is the one of the most important issues for its development. In this research the method for the heat transfer enhancement and the loss reduction of the rib turbulator and the return passage in the gas turbine blade is investigated. The combination of inclination direction of the rib turbulator for the inlet and outlet straight duct is optimized by the experiment and CFD. Using the result of the former, the rib arrangement in the return passage is also optimized by the experiment and CFD.

Key Words: Gas turbine, Internal cooling, Heat transfer, Rib turbulator

1 緒言

近年、地球温暖化及び原子力発電問題の対策として高温・高効率のガスタービンコンバインドサイクルの重要性が増している。高温・高効率化に伴いタービン翼入口温度が上昇するため冷却システムの高性能化が必要とされている。著者らは前報で流路側壁にリブタービュレータ（以下、側壁リブ）を設置した熱伝達促進手法の研究⁽¹⁾を報告した。本研究ではリブタービュレータ傾斜方向の違いと側壁リブを設置した場合の内部冷却流路リターン部への影響を検討した。また、リターン流路内にリブタービュレータを設置することによる伝熱促進・圧力損失低減手法の検討も行った。

2 実験装置および実験手法

本研究で用いた実験装置の概略図をFig.1に示す。底面に石膏製熱伝達計測用供試体を設置した流路と計測領域下流の吸引用ファンで構成されており、流路断面寸法は $H=100\text{mm}$ 、横 $W=150\text{mm}$ とした。作動流体には空気を用い、実験は入口流速 12m/s ($Re=9.6 \times 10^4$) の条件にて行った。熱伝達率分布計測には、サーモグラフィ (FLIR i60) を用いて非常温温度分布計測を行い、過渡応答法によりヌセルト数分布を算出した。CFDによりリブタービュレータのフィン効果について検討したところほとんど影響がなかったため評価ではそれを無視している。圧力損失計測には高速多点圧力計 (DSA) を用い、リブ設置区間の入口と出口に各3点ずつ設けた静圧孔の差圧より圧力損失を求めた。リブタービュレータの形状は一辺

0.1H (10mm) の正方形断面であり、取り付けピッチ $H(100\text{mm})$ で主流方向に 60° 傾けて設置されている。本研究で行ったリブ設置パターンをFig.2に示す。Case1,2,3,4は望月ら⁽²⁾の設置パターンを基本にして流入側流路と流出側流路の隔壁Bを実機での使用を考慮して $W/3$ (50mm) とした。Case5はCase4に側壁リブ⁽¹⁾を設置しストレート部の伝熱性能を向上したものであり、Case6,7はCase5のリターン部にリブタービュレータを設置したものである。

3 実験・解析結果

Fig.3に各Caseにおける平板比局所ヌセルト数分布の実験結果を示す。Fig.3の結果よりリターン部入口側でCase1,2に比べCase3,4の低熱伝達領域が減少していることが確認できた。これは流入側流路のリブタービュレータ傾斜方向がリターン部の熱伝達に大きく影響を与えているためだと考えられる。なお、リターン部出口側では各Caseで大きなヌセルト数分布の変化は見られなかった。これらのうちでCase3が最も熱伝達率が高かった。Case5はCase4に比べて約10%熱伝達が向上したことから側壁リブは直線部だけでなくリターン部の熱伝達向上にも効果があると考えられる。Case6,7の結果からリターン部のリブタービュレータは当該部の熱伝達

Fig.1 Schematic view

率向上には有効である。Fig.4に各Caseの平均ヌセルト数と圧力損失係数の関係を示す。この結果より圧力損失はCase4,3,2,1の順に低くなり、流入側流路のリブタービュレータ傾斜方向の影響が大きいことが判明した。また、流出側流路のリブタービュレータ傾斜方向も影響があり、Case2はCase1に比べ約10%圧力損失が低減できた。

Fig.3 Measured Nusselt number distribution of return passage

Fig.4 Comparison of Nusselt number and pressure loss

続いてCFD解析を用いてリターン部の流動を解析しメカニズムを検討した。Fig.5にCase1,4の流路高さ0.5Hでの流速分布Cを示す。この結果よりCase1はCase4と比べて流出側流路の剥離領域が大きくなった。そのため圧力損失が増大したと考えられる。

Fig.6にCase4,5の乱れ度分布を示す。この結果より側壁リブを設置したCase5ではCase1に比べ乱れ度が高くなっており、側壁リブによりリブタービュレータによる二次流れが強くなったことが原因であると考えられる。そのためリターン流路での熱伝達が促進されたと考えられる。

Fig.7にCase1,4,5,6,7のリターン内部の流線を示す。この結果よりCase1ではリブタービュレータから剥離した流れがリターン部の二次流れの影響で再付着していないことが確認できた。そのためリターン流路入口側で低熱伝達領域が広がったと考えられる。Case6ではリターン流路のリブタービュレータ間隔が狭いため、リブタービュレータ間の空間に流れが入りにくく、伝熱面近傍の流動を促進できていない領域が大きくなった。そのため、リブタービュレータを増やしても熱伝達があまり変化しなかったと考えられる。

Fig.5 CFD result of velocity distribution ($h=0.5H$)

Fig.6 CFD result of Turbulent Intensity (Cross-section of A-A)

Fig.7 CFD result of pathline in return passage (near wall)

4 結論

本研究ではガスタービン翼のリターン部を主とした内部冷却流路におけるリブタービュレータの影響と熱伝達率改良手法について実験、解析を用いて検討を行った。その結果以下が得られた。

- (1) 内部冷却流路リターン部の圧力損失・熱伝達共に流入側流路のリブタービュレータ傾斜方向が大きく影響している。流入側のリブタービュレータの傾斜方向をCase3,4のようにすることは熱伝達向上、圧力損失低減に有効である。
- (2) 側壁リブの設置はリターン部の伝熱促進にも効果があることが判明した。側壁リブを設置することでリブタービュレータによる二次流れが強くなったことが原因であると考えられる。
- (3) リターン部においてもリブタービュレータの設置は有効な手段である。リブタービュレータ本数を増加しても圧力損失が増大するだけで熱伝達率にはあまり変化しないことが判明した。

参考文献

- (1) 毛利 充敏 ガスタービン翼サーペンタイン流路の伝熱流動に関する日本機械学会 関西支部第88期定時総会講演会, 2013-3-17
- (2) 望月 貞成 180°急激曲がり部をもつリブ付き冷却流路内の流れと熱伝達 日本ガスタービン学会誌 23(90), 75-84, 1995-09-10