

氏名	かわばた ひろかず 川端 浩和
本籍（国籍）	青森県
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博 第257号
学位授与年月日	平成27年 3月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当 課程博士
研究科及び専攻	工学研究科機械・社会環境システム工学専攻
学位論文 題目	高温タービン翼フィルム冷却の熱流体特性及び流れ 制御技術に関する研究
学位審査委員	主査 教授 船崎 健一 副査 教授 上野 和之 副査 教授 廣瀬 宏一 副査 教授 山本 悟（東北大学）

論文内容の要旨

近年ガスタービンの高圧タービン部では、熱効率を増加させることを目的とし、タービン入口温度の高温化が試みられている。タービン入口温度の増加は、タービン効率の増加を招く一方で、タービン翼への熱負荷も増加させてしまう。そこで、高温タービン翼にはフィルム冷却機構が用いられている。このフィルム冷却機構には、少ない冷却空気でも効率よくタービン翼を冷却することが求められており、様々な高効率化手法が開発されてきた。従来の高効率化手法では、冷却孔の形状を単純円筒型の冷却孔から、拡大型の冷却孔に変化させることで、冷却面積を拡大させる手法が代表的であった。本研究では、従来の高効率化手法とは異なり、冷却孔周辺に流れ制御デバイスを設置し、冷却孔周辺の形状を変化させることで、流れの制御を行い、フィルム冷却の高効率化を行うことを目的としている。本論文では、複数種類のフィルム冷却モデルを用いることで、流れ制御デバイスの有効性について検証を行っており、全6章で構成される。

第一章は序論であり、フィルム冷却の高効率化手法の種類について述べ、本研究の主題となっているフィルム冷却用流れ制御デバイスについての概要を述べる。また、過去に研究の行われてきたフィルム冷却の高効率化手法との違いや、本研究で取り上げる流れ制御デバイスの利点を過去の研究と比較する。第二章では、平板モデルに単純型の流れ制御デバイスを取り付けたときの効果を、実験と数値解析によって明らかにする。本章で取り上げる流れ制御デバイスの形状は二次元的なものや、冷却孔1ピッチに対して、1つの流れ制御デバイスを取り付けるなど、比較的単純形状のものについて論じており、流れ制御デバイスを設置した場合の基礎的な知見を得ることを目的としている。

第二章ではこのような単純形状の流れ制御デバイスの効果を観察し、伝熱性能と空力性能を調査することで、流れ制御デバイスを取り付けなかった場合よりも、デバイス設置後の方が優れた伝熱性能を示すことを証明している。また、流れ制御デバイス下流側に発生する剥離領域が、特に流れ制御のメカニズムとして重要であることを明らかにした。

第三章では、平板モデルに Double Flow Control Device (DFCD) と呼ばれる複雑形状の流れ制御デバイスを取り付けた時の効果を、実験と数値解析によって明らかにしている。この DFCD は冷却孔に対して 2 つの流れ制御デバイスを取り付けたものであり、本論文の中でも、高い性能を示す流れ制御デバイスの 1 つである。本章では、DFCD を取り付けることにより、従来の冷却機構よりも数倍の冷却性能を示すことを明らかにしており、DFCD より下流の流れ場を調査した結果、DFCD からは、冷却孔から発生するフィルム効率低下の原因となっている渦 (CRVP) とは逆回転の渦が発生していることを明らかにした。さらに、単純円筒型の冷却孔に DFCD を取り付けるだけでなく、Shaped hole に DFCD を取り付けることにより、更なるフィルム効率向上が実現できることを示した。本章の最後には、主流の流入角が DFCD に対して与える影響を調査している。これにより、より実用的な流れ場での DFCD の効果について論じている。

第四章では、流れ制御デバイスの最適化に関して取り上げる。本研究では流れ制御デバイスの形状を最適化し、単に性能を調査するだけではなく、最適化手法そのものの信頼性評価を試みた。最適化手法にはタグチメソッドを用いている。本章では、実験的手法と数値解析的手法で最適化を同時に行うことで、最適解の信頼性を観察しており、数値解析で得られた最適解が実験と一致することを示している。また、流入角に対してロバストなデザインを得るために、タグチメソッドの動特性を用いることで最適化を実施した。これにより、流入角や、吹き出す二次空気の流量条件の双方に対してロバストな DFCD 形状を探索できることを示している。本章の最後には、空力性能を考慮した多目的の最適化を実施ししており、多目的最適化の場合には、最適解の信頼性や再現性が低下することも同時に示した。

第五章では、第四章までは平板モデルに流れ制御デバイスを取り付けてきたが、より実機に近い条件を再現するために、直線翼列の翼面上に流れ制御デバイスを取り付けた時の効果を実験と数値解析によって明らかにしている。本章では、翼の正圧面、負圧面の各冷却孔列にベースモデルの DFCD を取り付けることでフィルム冷却性能や、空力損失に与える影響がどの程度なのかを調査した。本章では、DFCD を取り付けることで、翼の各部分でのフィルム効率が流量条件によっては向上することを示しているが、翼の正圧面では、主流と二次空気のミキシングの影響を受け、DFCD の効果が発揮されない条件も存在することを示している。

第六章では、本研究の成果をまとめ、今後の課題について述べている。

論文審査結果の要旨

本論文では電力機器として重要なガスタービンでの高圧タービン翼のフィルム冷却技術に関する詳細な実験と数値解析が実施されている。フィルム冷却機構には、少ない冷却空気でも効率よくタービン翼を冷却することが求められており、様々な高効率化手法が開発されているが、本研究では、従来の高効率化手法とは異なり、冷却孔周辺に流れ制御デバイスを設置し、冷却孔周辺の形状を変化させることで、流れの制御を行い、フィルム冷却の高効率化を行うことを目的とした研究となっている。複数種類のフィルム冷却モデルを用いることで、流れ制御デバイスの有効性について非常に丁寧に検証を行っている。

今後のガスタービン効率の更なる向上には、冷却技術として最も効果的なフィルム冷却の高効率化が必要であるが、本論文では冷却効率を劇的に向上させる手法が提案され、その流体力学的、伝熱的特性が詳細に調査されている。得られた知見は学術的にも工業的にも非常に重要なものである。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。

原著論文名

Experimental and Numerical Investigations of Effects of Flow Control Devices upon Flat Plate Film Cooling Performance,
Kawabata, H., Funazaki, K., Nakata, R. and Takahashi, D.
ASME Journal of Turbomachinery, 136(6), 2013.