

Title	回転乱流の大規模構造と壁噴流との相互作用に関する研究
Author(s)	井上, 洋平
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48504
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について <a>〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	井上 洋平
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 21170 号
学位授与年月日	平成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科機械物理工学専攻
学位論文名	回転乱流の大規模構造と壁噴流との相互作用に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 梶島 岳夫 (副査) 教授 稲葉 武彦 教授 武石賢一郎 教授 田中 敏嗣 教授 箕島 弘二 教授 高谷 裕浩 教授 辻 裕

論文内容の要旨

ガスタービンなどの効率向上のためには、作動流体の高温化が不可欠であり、翼の冷却が重要な技術課題となっている。一方、回転場や曲面壁に沿う乱流には、熱伝達に支配的な影響を及ぼす大規模構造の存在が知られている。本論文は、タービン内部流の乱流構造を考慮して膜冷却媒体の混合を抑制する手法を構築するための基礎として、回転場における乱流構造の解明と制御に関する数値シミュレーションによる知見をとりまとめたものであり、緒言・結言を含む全 6 章で構成した。

第 1 章では、緒言として研究背景や本論文の位置づけ、および次章以降の概略について述べた。

第 2 章では、翼表面冷却機構を回転平行平板間乱流と壁噴流の 2 要素からなるモデルで表現し、回転場の乱流現象の定常状態および過渡状態解析、壁噴流と乱流構造との相互作用などの直接数値シミュレーション (DNS) の方法について述べた。

第 3 章では、回転流路において形成される大規模乱流構造と回転数との関係について、十分に発達した定常状態の解析結果を示した。流量の時間変化や流速、乱流エネルギーなど各種乱流統計量の空間分布、速度・渦度等に代表される流れ場の可視化情報などによって、大規模構造の空間的分布の同定を試み、レイノルズ応力の生成・再配分機構の回転数変化に対する選択的変化が乱流構造形成の要因であることを見出した。

第 4 章では、十分に発達した平行平板間乱流が回転の影響を受けた直後の過渡状態における乱流場の時系列解析の結果を示した。レイノルズ応力テンソルの非等方成分の不変量を判別指標として、壁面摩擦への時間応答性の相違や流量変化、乱流エネルギーバランスの非単調性など、過渡状態における時間スケールとその間の物理現象を明らかにした。

第 5 章では、壁面に設けられた矩形吹出口をもつ回転乱流の過渡状態をシミュレートし、第 3 章および第 4 章で得られた知見の工学的応用の可能性を検証した結果を示した。壁噴流の吹出口配置と大規模乱流構造の相互作用から、吹き出し配置の最適化により主流との混合を抑制する膜冷却法に適用できる乱流場の構造とスケールを明らかにした。

第 6 章は結言であり、本論で得られた結果をまとめた。

論文審査の結果の要旨

ガスタービンなどに代表されるエネルギー関連システムの性能向上が緊急の課題となっており、国際的に厳しい技術競争が展開されている。ガスタービンの効率向上のためには作動流体の高温化が最重要であり、その実現には翼冷却性能に関する新規技術の開発が不可欠である。ガスタービンの翼列流路は回転場で曲面壁を伴う乱流場であり、伝熱に支配的な影響を及ぼす大規模構造が存在することが知られている。本論文は、タービン翼列流れに不可避免的に発生する乱流の大規模渦構造を利用して膜冷却媒体の乱流拡散を抑制する新たな手法を着想し、回転場における乱流構造の解明と制御に関して数値シミュレーションによる知見をとりまとめたものであり、その成果は以下のように要約できる。

1. 十分に発達した定常状態で形成される大規模構造について、各種乱流統計量の分布や可視化情報により空間分布の同定を試みている。その結果、低回転時には壁乱流の性質を残したままでコリオリ力による圧力側の渦運動の増大や負圧側の渦運動の抑制が生じるが、回転数が増して大規模な二次流れ渦が支配的になると壁近傍の乱流渦構造が局在化することを示し、回転数の大小によって乱流場が質的に変化する機構を明らかにしている。
2. 現実の翼間流路は有限長であることを考慮し、平行平板間乱流が回転の影響を受けた直後の過渡状態の時系列解析を実施し、壁面摩擦の時間応答性が回転数によって整理できること、流量と圧力勾配の関係が非単調に変化することを明らかにしている。また、レイノルズ応力テンソルの非等方成分の不変量を判別指標とした解析を実施し、回転系における壁乱流の過渡状態の時間スケールと乱流エネルギーバランスの非単調変化との関係を解明している。
3. ガスタービン翼の膜冷却を模擬した壁噴流を伴う回転流路の乱流の時系列解析を実施し、吹き出し流れが回転により生成された大規模乱流構造の影響を強く受けることを示し、着想の有用性を実証している。また、吹き出し口の間隔を大規模構造のスケールと対応させた場合には、乱流が活性化されても、冷媒と主流との混合を抑制しうることを明らかにするなど、吹き出し口配置の最適化により膜冷却法を高性能化するために活用できる乱流場の構造とスケールを明らかにしている。

以上のように、本論文は回転乱流における物理現象を定常状態および過渡状態について解析するとともに、工学的な応用を視野に入れた回転乱流と壁噴流との相互作用を検討し、混合抑制を実現するための膜冷却設計の基礎となる乱流構造を解明している。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。