

氏 名	たつみ 異 和 也
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2261 号
学位授与の日付	平 成 15 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 機 械 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Characteristics of Flow and Heat Transfer in Channels with Corrugated and Rib Roughened Surfaces (屈曲壁面やリブ付設壁面を持つ流路の熱流動特性)
論文調査委員	(主 査) 教 授 鈴 木 健 二 郎 教 授 牧 野 俊 郎 教 授 小 森 悟

論 文 内 容 の 要 旨

種々の伝熱機器では、伝熱面形状に工夫を加えることによって伝熱性能の向上が図られることが少なくない。本論文は、屈曲した形状の伝熱面やリブを付設した伝熱面を持つ流路内の流れの熱流動特性を数値解析手法を応用して検討し、その結果を取り纏めたものであり、6章から構成されている。とくに、前半部ではマイクロガスタービン用の対向流式再生熱交換器の高効率化を目的として層流を取り扱い、後半部では高温大型ガスタービンにおける動翼の内部冷却の高性能化を取り扱う目的で乱流を取り扱っている。

まず第1章では、本研究の課題に関連する技術的要請とこれまで行なわれた関連研究の調査に基づいて、本研究の意義と目的を記述している。

第2章では、本研究で使用した数値解析法について、その概要を述べている。具体的には、使用した基礎方程式と乱流を取り扱う場合の乱れモデルを説明するとともに、周期的変動を伴う乱流において現れる周期的変動に基づく見かけのせん断応力と熱流束の流れ場と温度場への影響について議論を行い、それを考慮するための3成分分割法と乱れモデルを用いる非定常計算法の意義を明らかにし、その計算法を応用する場合を含めて本研究で採用した差分化の基本方針について述べている。

第3章では、コルゲート伝熱面を用いる対向流型再生熱交換器の基礎系として、90度屈曲伝熱面で隔てられた温度の異なる流れ方向が逆向きの対向流の間で生じる層流下の熱移動現象に着目している。まず、この現象を取り扱うための解析対象として、屈曲伝熱面を挟む対向流伝熱系の空間的1周期分に相当する伝熱ユニットを取り上げ、このユニットに対する層流強制対流—熱伝導連成解析の詳細と境界条件の与え方について述べている。ついで、数値解析結果の健全性について検討を加えたのち、屈曲伝熱面の屈曲高さ、屈曲部の長さ、隣接屈曲伝熱面の相対位置などの幾何形状や伝熱面厚さとその構成材料を変え、またレイノルズ数を $100 \leq Re \leq 800$ の範囲内で変更して、屈曲伝熱面を挟む空間的1周期分に相当する伝熱ユニットの特性と、それを多重接続した熱交換器の特性との関係式を提示した上で、得られた数値解析結果に対して検討を加えている。その結果、90度屈曲伝熱面については、屈曲1周期分ごとに隔壁突出部表面の温度境界層が更新され、その結果伝熱ユニットしたがって屈曲伝熱面全体の熱伝達特性が向上すること、また隣接する対向流間で交換される熱量は隔壁内を熱伝導によって移動するが、隔壁を横断する熱伝導による以外に、そのかなりの割合が隔壁に沿う熱伝導によっても伝達されること、したがって隔壁は薄いほど良いわけではなく、その厚さには最適値が存在することを明らかにしている。

第4章および第5章では、高温ガスタービンにおける動翼のアスペクト比の小さい内部空冷流路の基礎モデルとして、一つの壁面に分断リブを流れに直交して直列配列あるいは千鳥配列で設置する流路と、一つの壁面に単一の分断リブを流れに迎え角を持たせて設置する流路とを取り上げて、その内部を流れる非圧縮性乱流の熱流動特性を数値解析し、その結果を、連続リブを流れ方向に周期的に設置する従来の冷却流路の場合のそれと比較しつつ検討している。その結果、リブ付き空冷流路については、連続リブを設置する場合にも、側壁近傍から流路中央に向かうスパイラル状流れが発生して伝熱面を掃引

するが、流路のアスペクト比が小さいために、この流れは流路内の流れを全体的に3次元化させ、熱伝達率分布の非一様性をもたらすこと、分断リブを設置する場合には、リブを乗り越える流れ以外に、リブ隙間を通過する流れが加わり、この流れが作るせん断層が流路内に大規模な縦渦の流れを引き起こし、またリブ端背面に竜巻状流れを引き起こすこと、このため流れの3次元性が強まるとともに、せん断層内で生成される乱れによって乱流強度が増大すること、この結果リブ背後の循環流領域寸法が縮小し、また伝熱性能の改善がもたらされる一方で圧力損失が低減すること、さらに迎え角が増大すると縦渦の発生が抑制される一方で、発生する縦渦横断面寸法は増大すること、このため伝熱特性を最大にする最適迎え角が存在して、その角度が概ね45度であることなどを明らかにしている。また、縦渦の発生やその特性、縦渦によりもたらされる伝熱促進効果の予測には、非線形渦粘性モデルが適することも明らかにしている。

第6章は結論であって、本研究の成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

種々の加熱・冷却系では、伝熱面形状に工夫を加えることによって伝熱性能の向上を図ることが少なくない。本論文は、対向流型再生熱交換器におけるコルゲート伝熱面の解析モデルとして、90度屈曲伝熱面で隔てられる温度の異なる対向流間の熱移動現象を取り上げ、また高温ガスタービン動翼における内部空冷流路の解析モデルとして、一つの壁面に連続リブや分断リブを数種の配列方式で設置したアスペクト比の小さい流路を取り上げて、それぞれに数値解析手法を応用して、その熱流動特性の詳細について検討したものである。その結果、90度屈曲伝熱面では、

- (1) 屈曲1周期分ごとに隔壁突出部表面の温度境界層が更新される結果として、屈曲伝熱面全体の熱伝達特性が向上する。

突出部表面における伝熱量は、隔壁を横断する裏面からの熱伝導により供給される以外に、かなりの割合が隔壁に沿う熱伝導によって他の部分から供給される。したがって隔壁は薄いほど良いわけではなく、その厚さには最適値が存在する。

ことを明らかにしている。また、リブ付き空冷流路については、

- (2) 連続リブを設置する場合にも、側壁近傍から流路中央に向かうスパイラル状流れが発生し、流路内の流れを全体的に3次元化させ、熱伝達率分布の非一様性をもたらす。
- (3) 分断リブを設置する場合には、リブを乗り越える流れ以外に、リブ隙間を通過する流れが加わり、この流れが作るせん断層が流路内に大規模な縦渦の流れを、またリブ端背面に竜巻状流れを引き起こす。このため流れの3次元性が強まり、さらに、せん断層内で生成される乱れによって乱流強度が増大する。この結果、リブ背後の循環流領域寸法が縮小し、伝熱性能の改善と同時に圧力損失の低減が生じる。
- (4) リブ迎え角が増大すると縦渦の発生が抑制される一方で、発生する縦渦横断面寸法は増大する。このため伝熱特性を最大にする最適迎え角が存在して、その角度は45度程度である。

ことを明らかにしている。これらの結果は、再生熱交換器やガスタービン翼冷却の高効率化に資するものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成12年2月27日、論文内容とそれに関連した試問を行なった結果、合格と認めた。