

氏 名	かわ ぐち やす お 川 口 靖 夫
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3259 号
学位授与の日付	平 成 9 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	円柱によりかく乱を与えた乱流境界層の熱伝達機構の研究

論文調査委員 (主 査)  
教授 鈴木健二郎 教授 荻野文丸 教授 牧野俊郎

### 論 文 内 容 の 要 旨

熱エネルギーを利用するエネルギー変換機器では、熱の移動速度を高める有効な伝熱促進技術を開発することが省エネルギー、省資源ならびに環境負荷の軽減の上で極めて重要である。本論文は、実際応用上重要である乱流熱伝達に着目し、その高い熱伝達率を、さらに向上させることを目的として使用する伝熱促進体に関する基礎研究として、平板乱流境界層中に円柱ならびに円柱列を挿入した場合を取り上げて、主として実験的手法を用いて行った一連の研究の成果を取り纏めたものであって、8章からなっている。

第1章は序論であって、関連する研究の現状ならびに対象とする流動・伝熱場の特徴について概括し、本研究に着手した動機を説明したうえで、本研究の意義と目的を明らかにし、さらに本論文の構成について概説している。

第2章では、本研究で使用した実験装置について纏めて述べている。まず、使用した風洞の特長と挿入した円柱並びに円柱列の寸法と、その挿入位置と姿勢を明らかにし、実験を行う条件を記述している。ついで、伝熱面である平板の形状とその特徴、ならびに熱伝達率の測定法について述べている。さらに、境界層内での速度及び温度の測定法、とくにその変動値の検出方法を詳しく取り上げて、速度測定に使用した熱線の角度特性と熱線出力への流体温度の影響ならびにその補償方法、温度測定に使用した冷線の熱容量並びに支柱への熱伝導損失に伴う応答遅れの時定数の決定法とその補償方法について述べ、本研究における実験手法の特徴を述べている。さらに、本手法を通常の平板乱流境界層に適用して測定した温度変動強さと乱流熱流束の結果を他の研究結果と比較してその精度について述べている。

第3章では、まず円柱を挿入した平板乱流境界層において、円柱挿入位置と円柱寸法を変更した場合の平板摩擦係数と平板熱伝達率の測定結果を提示して、その特徴を吟味して測定結果を整理する上で有効な幾何形状パラメータを検討し、また円柱挿入位置の下流領域において認められる、熱伝達率が増大するに拘わらず摩擦係数が減少する現象、すなわち乱流輸送現象の非相似性について詳細な検討を施している。また、速度・温度同時測定から得られた諸種の統計量の測定結果を提示しており、まず円柱を挿入しない場合の測定結果から本実験手法の妥当性を検討しており、ついで円柱を挿入した場合の統計量について詳細な吟味を行って、非相似性の発現する原因を乱流機構の観点から説明することを試みている。また、 $k-\epsilon$  2方程式乱れモデル等で使用する乱流プラントル数の境界層内分布についても検討を行っている。

第4章では、円柱によってかく乱を与えた境界層内において、円柱-平板間距離を3種類に変更して短時間平均による自己相関関数  $R_{uu}$  を求め、その内層パラメータを用いる無次元量と外層パラメータによるものとの比較を行って、いずれによる整理が適切であるかを検討し、また測定した平均温度分布を提示してその特徴を議論している。さらに、壁面更新モデルを応用して、円柱によってかく乱を与えた境界層における円柱下流域の壁面摩擦係数と熱伝達率の予測を試み、結果を吟味することによりその適否を論議している。

第5章では、円柱によってかく乱を与えた境界層中の、壁面近傍領域の壁面からの距離が異なる4箇所に設置された熱線から得られる速度信号に、条件付きサンプリング手法を適用して乱れの組織的運動の検討を行っている。具体的には、速度の急変に着目して事象を検出する修正 VITA 法を用いて、その事象の発生頻度と持続時間、事象検出時点前後の速度変化

パターン、ならびにその変換から得られる事象検出時点の速度の空間分布、その分布に特徴的に認められる最大加速度前線について検討を行っている。

第6章では、さらに同時測定された速度信号と温度信号に、変動速度2成分と変動温度の符号に基づく8象限分析を適用して、運動量輸送と熱輸送の間の非相似性と乱れの組織的運動との関連性を検討し、かく乱を受けない通常の平板境界層において主要な事象として認められているスweepとイジェクションや、それに比較して重要度が低いとされている2種類のインタラクション運動の、壁面近傍領域における輸送現象への寄与率が、かく乱によっていかなる影響を受けるかについて詳細に吟味している。

第7章では、実際上の応用との関連から円柱列を挿入した場合に着目し、円柱列の流れ方向ピッチならびに円柱-平板間距離をそれぞれ数種に変更して平板熱伝達率の測定を行い、その結果を吟味して伝熱促進上の最適条件を検討している。

第8章は結論であって、各章で得られた結果を総括するとともに、今後の研究に対する課題を展望している。

### 論文審査の結果の要旨

伝熱促進体を挿入する場合の流れ場と温度場に関する研究は、省エネルギー、省資源、環境負荷の軽減に有効なエネルギー機器熱交換過程の高効率化、を達成するうえで重要である。本論文は、その基本系として単一円柱および円柱列を挿入してかく乱を与えた平板乱流境界層に着目し、その熱伝達機構について行った研究の成果を取りまとめたもので、得られた主な成果は次のようである。

1. 円柱の挿入によって、円柱下流域における平板摩擦係数が低下する一方で、同じ領域の平板熱伝達率が增大することを見出し、この現象を非相似性と名付けた。また、非相似性発現時の摩擦係数と熱伝達率の分布形状は、幾何形状パラメータとして円柱径と円柱-平板間距離の比を用いることによって良好に整理できることを示した。

2. 変動速度ならびに変動温度に関連する相互相関係数は、円柱の挿入により与えられるかく乱によって著しくは影響を受けないものの、乱流プラントル数の分布は円柱の挿入ならびに円柱-平板間距離によって顕著に変化することを指摘した。

3. 壁面更新モデルは、円柱下流域における摩擦係数の低下を予測する上で有効であるが、熱伝達率の向上したがって非相似性の発現、を予測する上では必ずしも有効でないことを指摘した。

4. 円柱によって与えられるかく乱は、修正 VITA 法を用いて検出したスweep運動に対応する急加速を伴う事象の発生頻度には顕著な影響を与えないが、検出された事象自体の速度変化パターンには顕著な影響を与えることを明らかにした。

5. 壁向きインタラクション運動および外向きインタラクション運動は、運動量輸送には負の寄与をなし、熱輸送には若干の正の寄与をするので、それらが円柱の挿入によって強化されることが非相似性の発現をもたらすことを見出した。

以上要するに、本論文は伝熱促進体を挿入した乱流中の熱伝達機構について種々の新しい知見を提供したものであって、学術上、実際に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9年6月19日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。