

氏名	矢 尾 匡 永
学位(専攻分野)	博士 (工 学)
学位記番号	論工博第3514号
学位授与の日付	平成12年3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	乱流プロモータによるチャンネル乱流熱伝達の促進に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 鈴木健二郎 教授 小森 悟 教授 吉田英生

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、基本的な伝熱系として重要性を持つチャンネル乱流熱伝達の伝熱促進のために、乱流プロモータとして柱状物体を挿入する方法に着目し、その有効性と伝熱促進機構について実験的に検討した成果を取り纏めたもので、6章からなっている。

第1章は緒論であって、乱流熱伝達の伝熱促進に関する研究の動向と課題ならびに本研究の意義を明らかにしている。

引き続き第2章では、作動流体を空気としたチャンネル乱流中に千鳥状に円柱列を配列・挿入し、円柱とチャンネル壁との隙間とレイノルズ数を変更して圧力損失特性と局所熱伝達率を測定し、また、水を作動流体とするチャンネル乱流を対象として、色素流脈法によって円柱列を挿入する場合の可視化実験を行い、円柱列の配置が圧力損失の増大をもたらすものの、伝熱促進に有効であり、とくにチャンネル水力直径基準レイノルズ数が10,000以下の範囲であれば、送風動力を一定に保ったままでも伝熱促進が図れることを明らかにしている。また、この流れ系における伝熱促進は、円柱のチャンネル壁側の側面から生じるはく離せん断層の伝熱面への間欠的な付着、円柱・伝熱面間の隙間内流れの増速、伝熱面近傍への乱れの到達、の複合効果によって生じることを確認している。

第3章以降では、伝熱促進機構のさらに基本的な検討を行うため、単一角柱を挿入したチャンネル乱流に対して検討を行っている。まず第3章では、色素断続注入法を独自に開発して、この手法が角柱から放出される渦を個別に識別する上で有用であることを示し、この方法を応用して角柱から放出されるカルマン渦が交叉運動をする事実や、一様流中の現象に比較すると渦間隔が狭くなる事実を見出した。また、水素気泡法も併用して、チャンネル壁面近傍の高渦度領域が間欠的にはく離して孤立渦に発展すること、孤立渦とチャンネル壁面の間に伝熱面に洗濯効果を及ぼす逆流が発生することを明らかにし、この洗濯効果が熱伝達率分布における第2ピークの発生原因であり、したがって伝熱促進をもたらす鍵現象である可能性を指摘している。

第4章では、流れの可視化実験や、熱線流速計・レーザドップラー流速計と冷線温度計の併用による速度場・温度場の詳細な測定と、得られた速度・温度信号のウェーブレット変換による解析を行っている。この結果、ウェーブレット解析が乱流本来の高周波不規則変動や角柱から放出される個々の渦ごとのゆらぎに伴う信号から、低周波変動信号を分離・抽出する上で有効であることを示し、抽出された低周波信号に検討を加えて、伝熱促進や運動量輸送と熱輸送の非相似性の発現に関連するピーク熱伝達率が、基本的には速度場と温度場の低周波変動に基づくインタラクション運動の強化に起因することを明らかにしている。

第5章では、基準信号のウェーブレット変換から得られる位相情報をもとに、ウェーブレット変換によって各位置で抽出される低周波変動信号の位相の対応づけを行い、このことに基づいて低周波変動をもたらす流れの空間構造を検討している。その結果、伝熱促進と熱・運動量輸送の非相似性がカルマン渦と同期して壁近傍に形成される2種類の大規模渦構造と関連して生じることを明らかにしている。また、測定された信号の周波数帯域を変更したウェーブレット変換の結果から、高周波変動の役割についても検討を行い、運動量輸送には大規模渦構造が支配的に寄与するのに対して、熱輸送には小規模渦も少なからず寄与すること、それが非相似性を招く副次的な原因であることを明らかにしている。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、基本的な伝熱系として重要なチャンネル乱流熱伝達の伝熱促進のために、乱流プロモータとしてチャンネル内に柱状物体を挿入する方法に着目し、その有効性と伝熱促進機構について実験的に検討した成果を纏めたもので、その主な成果は次の通りである。

1. 円柱列を千鳥状に配列・挿入する方法は、圧力損失の増大をもたらすが、伝熱促進には有効であり、とくに水力直径基準レイノルズ数が10,000以下の場合には、送風動力を一定に保ったままでも伝熱促進が図れることを明らかにしている。
2. この伝熱促進は、円柱側面から生じるはく離せん断層の伝熱面への間欠的付着、円柱・伝熱面間の隙間内流れの増速、伝熱面近傍への乱れの到達、の複合効果によって生じることを確認している。
3. 色素断続注入法による流れの可視化実験法を独自に開発し、単一角柱を挿入したチャンネル乱流に応用して、その有用性を示した。また、角柱から放出されるカルマン渦が交叉運動をする事実、一様流中の現象に比較して渦間隔が狭くなる事実を見出している。
4. 単一角柱を挿入したチャンネル乱流において同時測定した速度・温度信号のウェーブレット変換による解析から、伝熱促進や運動量輸送と熱輸送の非相似性が、速度場と温度場の低周波変動に基づくインタラクション運動の強化に起因することを明らかにしている。
5. このインタラクション運動の強化は、カルマン渦と同期して壁近傍に形成される2種類の大規模渦構造と関連して生じること、運動量輸送には大規模渦構造が支配的に寄与するのに対して、熱輸送には小規模渦も少なからず寄与し、このことが非相似性を招く副次的な原因であること、を明らかにしている。

以上のように本論文は、乱流熱伝達の伝熱促進法とその機構に関する基礎的知見を提出したものであって、学術上、実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18日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。