

氏 名	Eschenbacher, Jens F.
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2205 号
学位授与の日付	平 成 15 年 1 月 23 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	Drag Reduction and Heat Transfer Characteristics of Surfactant - added Flows with Large-scale Longitudinal Vortices (大規模な縦渦を伴う界面活性剤流れの摩擦抵抗低減および熱伝達特性)
論文調査委員	(主 査) 教 授 鈴 木 健 二 郎 教 授 吉 田 英 生 教 授 小 森 悟

論 文 内 容 の 要 旨

排熱などの低質熱エネルギーを産業地域などで回収し、遠隔にある都市域に管路で輸送して利用するエコエネルギーシステムでは、熱媒体輸送管路の摩擦抵抗の低減が重要であり、界面活性剤の添加がその有力な手段とされているが、熱伝達の低下が付随して生じるため、管路の両端で使用する熱交換器の性能が低下することが問題である。本研究は、界面活性剤添加水溶液を熱媒体とする熱交換器の性能改善に応用することを目的として、チャンネル内にデルタ翼渦発生体を挿入し、あるいは噴流を斜めに吹き込むことによって大規模な縦渦を生成し、熱伝達の局所的改善を図ることの可能性を検討した実験的研究の検討結果を取纏めたものであって、7章からなっている。

第1章では、摩擦抵抗の低減に有効な物質の種類を挙げ、それを熱媒体として用いた場合の熱エネルギー有効利用上の工業的重要性を述べるとともに、これまで行われてきた主な研究を概括し、摩擦抵抗低減流れの伝熱促進に関する研究例が極めて少ないことを指摘して、本研究の意義を明らかにしている。

第2章では、摩擦抵抗低減に有効な諸物質のうち、繰り返しや長時間使用に耐え得る界面活性剤に着目し、その水溶液流れを特徴づける臨界レイノルズ数や、水流には見られない熱流動特性、界面活性剤分子が構成するミセル構造やそれに基づくレオロジー的性質について検討している。

第3章では、まず次章以降で行う実験の基本流であるチャンネル内の界面活性剤添加水溶液流れについて、壁面摩擦係数と壁面熱伝達率を実測し、それらの結果が既報の結果と合致することを確認している。また、伝熱面近傍の流速分布を測定し、流れの非ニュートン性を明らかにするとともに、ニュートン流で有効とされているデルタ翼型渦発生体の設置や噴流の吹き込みが、界面活性剤添加水溶液を用いる摩擦抵抗低減流れの伝熱促進手段として有望であるとして、その活用を提案している。

第4章では、デルタ翼型渦発生体の設置や噴流の吹き込みが実現できるチャンネルを含む実験装置の概要を説明するとともに、本研究で採用する実験手法として、摩擦係数評価のための圧力測定法、熱伝達率評価のための壁温測定法、および流速分布測定のための粒子追跡法(PIV法)を解説し、さらに測定値の誤差評価について吟味している。

第5章では、チャンネル内流れ中にデルタ翼型渦発生体を設置した場合を取り扱っており、界面活性剤添加水溶液流れの場合には、同じ流量条件下における水流の場合と違って、臨界値以下のレイノルズ数流れで摩擦抵抗が低減し、これに伴って乱流混合が抑制され、熱伝達率も大きく低下することを明らかにしたうえで、伝熱面に渦発生体を設置すると、渦発生体を乗り越える流れやそれを迂回する流れが発生する以外に、渦発生体背後に顕著な断面内2次流を伴う大規模な縦渦が一つ生起すること、この縦渦は流れ方向にかなりの距離にわたって存続すること、この縦渦の存続領域において、局所的な伝熱促進が実現でき、流れのレイノルズ数が臨界値以下で、界面活性剤濃度が過大でなければ、熱伝達率が水流の場合の値と同程度にまで回復し得ること、また、その回復の程度は流れのレイノルズ数や界面活性剤の濃度のほかに水溶液の温度に強く依存することを明らかにしている。

第6章では、チャンネル内流れに噴流を吹き込む場合の噴流衝突面における伝熱促進について、縦渦生成を強化するために噴流を衝突面に対して斜めに吹き込む場合の検討を行っている。この場合、噴流／主流速度比の影響を調べることを主目的として、界面活性剤の濃度およびその水溶液温度は一定とした上で、水流の場合との速度場および熱伝達特性に関する対比実験を行い、その結果、噴流吹き込み位置の下流で主流との干渉によって一対の互いに反対方向に回転する大規模な縦渦が生成すること、渦に挟まれる領域で壁面熱伝達が促進されること、噴流／主流速度比が大きくなるにつれて一方の渦がスパン方向に移動し、それに呼応して伝熱促進領域が広がることを示し、噴流による縦渦が摩擦抵抗低減流れの熱流動特性の改善に有効であることを明らかにしている。

第7章は結論であって、本研究全体の成果を総括するとともに、今後の研究について展望している。

論文審査の結果の要旨

産業排熱を回収地から遠距離にある都市域で利用するエネルギーシステムでは、熱媒体輸送管路の摩擦抵抗の低減が重要であり、界面活性剤の添加がその有力な手段とされているが、これに付随して生じる熱伝達の低下により、管路両端で使用する熱交換器の性能が低下することが問題である。本研究は、界面活性剤添加水溶液を熱媒体とする熱交換器の性能改善への応用を目的として、チャンネル内にデルタ翼渦発生体を挿入し、あるいは噴流を斜めに吹き込むことによって大規模な縦渦を生成して、熱伝達の局所的改善を図ることの可能性を検討した実験的研究であって、得られた主な成果は次の通りである。

1. 臨界値以下のレイノルズ数において界面活性剤添加水溶液流れの摩擦抵抗が、同じ流量条件下の水流の対応値に比べて低減し、これに伴って熱伝達率が低下する。その主原因は界面活性剤添加による乱流混合の抑制にある。
2. 伝熱面に渦発生体を設置すると、渦発生体を乗り越える流れや迂回する流れが生じる以外に、渦発生体背後に顕著な断面内2次流を伴う大規模な縦渦が一つ生起する。この縦渦の存続領域において、局所的な伝熱促進が実現できる。
3. レイノルズ数が臨界値以下で、界面活性剤濃度が過大でなければ、縦渦の存続領域の熱伝達率は水流の場合の値と同程度にまで回復する。熱伝達率の回復程度は流れのレイノルズ数、界面活性剤の濃度のほかに水溶液の温度にも依存する。
4. チャンネル内に噴流を斜めに吹き込むと、界面活性剤添加水溶液流れにおいても、吹き込み位置下流に互いに反対方向に回転する一対の大規模な縦渦が生じる。
5. 渦対に挟まれる領域では、壁面熱伝達が有効に促進でき、熱伝達率が水流中の対応値を上回る場合も生じる。噴流／主流速度比を大きくすると、一方の渦がスパン方向に移動して渦対に挟まれる領域が拡大し、これに呼応して伝熱促進領域が広がる。

以上、本論文は、界面活性剤を添加して摩擦抵抗を低減する流れにおいて生じる熱伝達特性の低下を改善する方策として、縦渦を発生させて活用することの有効性を明らかにしたもので、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14年12月2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。