

氏 名	WAEL IBRAHIM AHMED ALY
授与した学位	博 士
専攻分野の名称	学 術
学位授与番号	博甲第3435号
学位授与の日付	平成19年 3月23日
学位授与の要件	自然科学研究科エネルギー転換科学専攻 (学位規則第4条第1項該当)
学位論文の題目	Experimental and Numerical Study on Flow Drag Reduction and Heat Transfer of Surfactant Solutions in Straight and Helical Pipes (界面活性剤添加水溶液の直管およびヘリカル管内流動時における流動抵抗低減と熱伝達に関する実験・数値解析的研究)
論文審査委員	助教授 堀部 明彦 教授 柳瀬真一郎 理事 稲葉 英男

学位論文内容の要旨

The main objectives of the present study are to investigate experimentally the flow drag reduction and heat transfer phenomena of drag-reducing surfactant solutions in straight and helical pipes and to develop a turbulence model for simulating the flow drag and heat transfer reductions in straight and helical pipes.

Flow drag and heat transfer reduction phenomena of an environmentally friendly (non-toxic and biodegradable) non-ionic aqueous surfactant solutions flowing in helical and straight pipes have been experimentally and numerically investigated. Three different curvature ratios helical pipes (0.018, 0.027, and 0.045) and a straight pipe of inner diameter 16 mm have been studied at different surfactant concentrations and solutions temperatures. The non-Newtonian drag-reducing fluid used in the present study has been modeled by the power-law, Ostwald-de Waele constitutive relationship. The walls were subjected to uniform heat flux ($0.14 \sim 8.9 \text{ kW/m}^2$) boundary condition. The effects of variations in the surfactant concentration (250 ppm \sim 5000 ppm), solution temperature ($5^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$), flow modified Reynolds number ($10^3 \sim 10^5$), and the curvature on the flow and temperature fields were described. Also, heat transfer behavior in helical pipes is discussed in details. Results were compared to the measured Newtonian fluid (water) in the same helical pipes and the surfactant solution flow in the straight pipe. Moreover, empirical correlations to predict the hydrodynamics and thermal performances of the helical pipes for drag-reducing surfactant solutions flows were regressed from the experimental results.

A two-layer CFD model was developed to describe turbulence damping by surfactants drag-reducing additive in the near-wall regions. In this model, the standard $k-\epsilon$ model was used in regions where the turbulence level is high, and one-equation model was used near the walls, where turbulence is damped. The von Kármán constant κ in the near wall region was used as the model parameter as it is well known that it determines the slope of velocity profile in the logarithmic layer. The thickness of the near-wall layer at different Reynolds numbers was incorporated in natural manner in the two-layer model.

論文審査結果の要旨

本論文は、流動抵抗低減剤（界面活性剤）を熱輸送媒体へ添加することで、乱流状態の流れを層流化し、管内流れの流動抵抗および熱伝達率を低減させ、熱輸送媒体の輸送動力の削減と配管からの熱損失の低減により、効率的な熱エネルギー輸送システムの展開を行うことを目的としている。本研究では、直管および市販の熱交換器やコイル等のように二次流れを伴うなど複雑な配管系を想定した螺旋状コイルでの流動抵抗低減剤添加水の流動抵抗と熱伝達率に関して実験的および数値解析的検討を行った。流動抵抗低減剤としては、非イオン性界面活性剤（ODEAO）などを用いている。その結果、主に以下のことが判明した。

螺旋状コイル内を流動する ODEAO 水溶液の管摩擦係数は、水が流動した場合の管摩擦係数よりも低い値を示し、流動抵抗低減効果を確認した。しかしながら、螺旋状コイル流動する際に発生する 2 次流れの影響のため、流動抵抗低減効果を示した場合でも、同濃度において直管を流動する場合の管摩擦係数の値よりも、螺旋状コイルを流動する ODEAO 水溶液の管摩擦係数は高い値を示している。また、流動抵抗低減効果を示している場合の ODEAO 水溶液の螺旋状コイル試験部における熱伝達率は、同一条件での水の値よりも低くなっており、熱伝達低減効果を示すことが明らかとなった。ODEAO 水溶液の流動抵抗および熱伝達低減効果の無次元低減割合を表す DR および HTR の値は、一定の流速条件において、ODEAO 水溶液温度と ODEAO 添加濃度の増加とともに増加する傾向を示した。以上のまとめとして、螺旋状コイル内を流動する ODEAO 水溶液の管摩擦係数と平均ヌセルト数に関して、無次元実験整理式を得た。

さらに、数値解析では、二層 CFD モデルを用いて本流動をモデル化し、カルマン定数 κ を変数として実験と比較することにより、流動抵抗と熱伝達が同一の κ により表すことが可能であり、流動抵抗の測定値により熱伝達が推定できることを明らかにしている。

以上の内容を審査の結果、新規性、有用性などを有し、工学的に有意義な研究と認め、学位を授与するに値するものであると判断する。