

氏名	Mohammed Mohammed EL-Morsy Shatat
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4133号
学位授与の日付	平成22年 3月25日
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第5条第1項該当)
学位論文の題目	Influence of Micro-Bubbles on the Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of Water Flow in Straight and Helical Pipes (直管・ヘリカル管内流における熱伝達と圧力低下に及ぼすマイクロバブルの影響)
論文審査委員	教授 柳瀬眞一郎 教授 富田 栄二 教授 堀部 明彦

学位論文内容の要旨

Chapter 1 gives an introduction regarding the drag reduction and the characteristics of helical pipe flow with and without heat transfer including a brief summary of their applications in addition to the significance and motive of this study.

Chapter 2 presents an extended literature review of:

- the previous researches about the drag reduction additives (polymers, surfactants and micro-bubbles) including their applications and techniques
- numerical and experimental studies on flow and heat transfer performance through helical and curved pipes including the flow pattern, influence of pipe geometry, flow and heat transfer in entry region and the non-Newtonian flow in curved and helical pipes

Chapter 3 investigates the micro-bubbles generation method and measurements. In this chapter a brief introduction about the methods of micro-bubbles generation was given before explaining the current micro-bubbles generator design. Two methods used for measurements of bubble diameter and bubble concentration are also presented with an explanation of the major differences between them. Finally, the results obtained from these measurements were provided and discussed.

In chapter 4, an experimental study of the micro-bubbles drag reduction in both straight and helical pipes was performed without the presence of heat transfer and covering both laminar and turbulent flow regions. The effects of coil curvature, air fraction and flow Reynolds number on friction factor and drag reduction ratio are reported. The results showed a significant effect of the micro-bubbles on the friction factor and drag reduction of the water flow through straight and helical pipes, however the effect on straight pipe was higher than that in helical pipe. The drag reduction was found to increase with the increase of air fraction and the decrease of coil curvature.

Chapter 5 investigates the effect of the micro-bubbles presence in water flow through straight and helical pipes on both flow field and heat transfer characteristics under the condition of constant heat flux. The friction factor and Nusselt number results were presented for different test section geometries, void fractions and flow Reynolds number. The heat transfer coefficient was found to decrease as well as the friction factor due to the presence of micro-bubbles in both straight and helical pipes. However, the reduction of heat transfer coefficient was more significant than the reduction in friction factor. The results showed that the both the reduction in heat transfer and friction factor increases with the increase in void fraction. It was also indicated that the secondary flow in the helical pipes reduces the effect of micro-bubbles on both the friction factor and heat transfer coefficient.

Finally, chapter 6 provides the overall conclusions and some suggestions for future work.

論文審査結果の要旨

本論文では、マイクロバブルの直管とヘリカル管を流れる水流の、管抵抗と熱伝達に対する影響を層流領域と乱流領域の両方に対して実験的に調べている。抵抗については抵抗係数を求め、熱伝達についてはヌッセルト数を求めることによってその影響を調べた。マイクロバブルは液体サイクロンの原理に基づく2つの対向する旋回ノズルによるマイクロバブル発生装置で発生させた。マイクロバブルの粒径分布と密度は、撮影した画像を解析ソフトによって操作することによって求め、平均粒径は約 $50\ \mu\text{m}$ で最大粒径は $174\ \mu\text{m}$ であった。

管抵抗に関する実験では直管と3種類の異なる曲率を持つヘリカル管を用いた。直管に対する結果は、マイクロバブルのボイド率が大きくなると抵抗低減率も大きくなり、ボイド率0.21%、0.32%、0.44%において最大の抵抗低減率はそれぞれ44%、50%、54%となった。同時に、臨界レイノルズ数 Re_{cr} は増加し流れは層流化され、 Re_{cr} はそれぞれのボイド数に対して 3.5×10^3 、 5.1×10^3 、 7.2×10^3 まで増加した。ヘリカル管に対する抵抗低減率は、曲率の増大によって減少することが分かった。これにはヘリカル管内の二次流がマイクロバブルを移送する影響が大きいと考えられる。

一方、熱伝達率への影響についても直管と3種類の異なる曲率の異なるヘリカル管について実験を行った。その結果、熱伝達率の減少は抵抗削減を上回って大きくなり、抵抗削減率よりも約22—35%程度増加した。また、熱伝達の低減率も、ボイド率の上昇により増加し、曲率の増大によって減少することが分かった。抵抗低減率と熱伝達率低減率の違いの理由は、管抵抗は乱流の管軸方向とそれに垂直な方向成分に依存するが、熱伝達率は乱流の管軸に垂直方向成分のみに依存し、マイクロバブルにより垂直方向成分が強く抑制されるために熱伝達率の減少のほうがより大きくなりやすいためであると思われる。

本研究はマイクロバブルの管抵抗率と熱伝達率に対する影響を詳しく調べた実験的研究で、これまでにほとんど例のないもので、学問的に価値のある結果を多く含んでいる。従って、博士(学術)に値すると考えられる。