

低密度差固液流動層の熱伝達特性に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、資源に乏しい日本のみならず、全世界的な問題として、化石燃料の枯渇が叫ばれている。エネルギー革命以来、エネルギー資源としての石油の消費量は急速に増加し、埋蔵量が残る数十年分であると予測されるようになって久しい。また、プラスチック製品の普及により、工業材料としての石油の消費量も増加の一途をたどっている。原子力を初めとした石油に代わる新たなエネルギー資源も開発・実用化が進められているが、安全性等、いまだ残された課題は多く、石油に取って代わるまでには至っていないのが現状である。このため、残された限りある資源をいかに有効に使うか、ということが重要な課題となっている。また、エネルギー消費量の急速な増加は、地球温暖化などの新たな環境問題を生み出し、その観点からも、エネルギーの有効利用の必要性が高まっている。このような地球規模でのエネルギー問題から、従来は廃熱とされてきた温排水などの低密度熱エネルギーを、回収することによって再利用することが研究されている。

流動層は、高い熱伝達特性が得られることから、低密度熱エネルギーの回収に有効であると考えられ、その伝熱機構や流動粒子の挙動などに関して多くの研究がなされている。

従来、数多く研究されている流動層は、固気流動層・固液流動層のいずれにおいても、流動粒子に作動流体との密度差の大きな物質を用いたものであり、その流動化のために大きな流速を必要とする。従って、従来の流動層を低密度熱エネルギーの回収に用いることは、大きな流動化動力を必要とする面で不利になると考えられる。一方、流動粒子に作動流体との密度差が小さい物質を用いることにより、低流速で粒子を流動させることができるため、流動化動力を低減することが可能であり、温排水等よりの廃熱回収などの低密度熱エネルギーの回収に対しては有効に適用可能であると考えられる。

流動層に関する研究は、流動粒子としてアルミニウムや鉄などの金属やガラス、セラミック等を用い、作動流体と流動粒子との密度差が大きい場合の流動特性や熱的特性に関して多くなされている。しかし、流動粒子と作動流体の密度差が小さい物質を用いた流動層に関する研究は数少なく、特にその熱伝達特性に関する詳細な研究はいまだなされていないようである。

このような現状に基づき、本論文では、作動流体との密度差が小さい物質を流動粒子として用いた固液流動層の熱伝達特性を明らかにすることにより、低密度差固液流動層を低密度熱エネルギーの回収に用いる際の基礎的資料とし、エネルギー有効利用の推進に資することを

目的としている。

本論文は、6章より構成されている。第1章は序論であり、低密度差固液流動層の熱伝達に関する研究の意義を述べている。

第2章は、流動層に関する従来の研究について述べるとともに、本研究の目的および位置付けを明らかにしている。

第3章では、低密度差固液流動層の熱伝達挙動に関する基礎的資料を得るため、垂直矩形流路内に水平加熱円管を設置し、流動粒子として作動流体である水との密度差の小さな低比重物質を用い、水の下降流と粒子により形成される固液流動層における、粒子の流動挙動および水平加熱円管よりの熱伝達挙動に関して実験的に検討を行っている。

試験部入口における平均流速、粒子径、粒子物性、加熱管径、試験部入口温度、および加熱管熱流束をパラメータとして、粒子の流動状態の観察および定常状態における局所および平均熱伝達率を算出し、熱伝達挙動を明らかにしている。さらに、加熱管表面温度の温度変動を測定し、粒子の流動挙動と熱伝達との関係を詳細に検討した。

第4章では、流動層内に垂直加熱平板群を設置し、粒子の流動挙動および垂直加熱平板群よりの熱伝達に関して検討を行った。

伝熱面として流れ方向に一定の長さを持つ垂直加熱平板を採用し、伝熱面のまわりで流動粒子が存在する領域と存在しない領域を同時に実現し、粒子の流動が熱伝達に及ぼす影響をより詳細に検討した。平均流速、粒子径、粒子物性等に加えて、垂直加熱平板の間隔および固定層高さを変化させ、垂直加熱平板群の熱伝達特性を明らかにした。

第5章では、低密度差固液流動層の熱交換器への応用を想定し、管群における熱伝達挙動を明らかにするため、流動層内に水平加熱円管群を設置し、粒子の流動挙動および水平加熱円管群よりの熱伝達挙動に関して検討を行った。

流動層内に挿入する加熱管群の管径、管ピッチを変化させ、管群の熱伝達に及ぼす流速、粒子径、粒子物性等の影響に関して実験的に検討を行った。

第6章は結論であり、本研究において得られた結果を要約して述べており、本研究における低密度差固液流動層の熱伝達に関する実験的研究の結果は、低密度熱エネルギーの回収に流動層熱交換器を応用する際の基礎的資料となることを述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 福 迫 尚一郎

副 査 教 授 菱 沼 孝 夫

副 査 教 授 宮 本 登

副 査 教 授 工 藤 一 彦

副 査 助 教 授 山 田 雅 彦

学 位 論 文 題 名

低密度差固液流動層の熱伝達特性に関する研究

化石燃料資源の枯渇や、エネルギー消費量の急速な増加による地球温暖化などの環境問題から、エネルギーの有効利用の必要性がさらに高まっており、その一環として温排水などの低密度熱エネルギーを回収し再利用することが研究されている。低密度熱エネルギーの回収に際しては、熱交換装置の高い熱伝達特性が要求されることから、流動層熱交換器が有効であると考えられるが、従来の流動層は流動粒子に作動流体との密度差の大きな物質を用いたものであり、その流動化のために大きな動力を必要とすることから、低密度熱エネルギーの回収に対しては適当ではないと考えられる。一方、流動粒子に作動流体との密度差が小さい物質を用いることにより、流動化動力を低減することが可能であるが、従来、流動粒子と作動流体の密度差が小さい物質を用いた流動層に関する研究は数少なく、特にその熱伝達特性に関する研究はなされていない。

本論文では、作動流体との密度差が小さい物質を流動粒子として用いた固液流動層の熱伝達特性を明らかにすることにより、これを温排水などの低密度熱エネルギーの回収に用いる際の基礎的資料を得ることを目的として、作動流体である水との密度差の小さな低比重物質を流動粒子に用い、水の下降流と粒子により形成される固液流動層における粒子の流動挙動および流動層内に設置された水平加熱円管周りの熱伝達挙動に関して、試験部入口における流体温度ならびに平均流速、粒子径、粒子の熱物性、加熱管径、試験部入口温度、および加熱管熱流束などの諸因子が粒子の流動状態および定常状態における加熱管周囲の局所熱伝達挙動に及ぼす影響を実験により検討し、加熱管周りの粒子流動挙動と熱伝達特性の関係を詳細に検討している。

また本論文では、流動層内に拡大伝熱面としてのフィンを設置することを想定し、かかる流動層内における垂直加熱平板群よりの熱伝達に及ぼす平均流速、粒子径、粒子物性、垂直加熱平板の間隔、および固定層高さ等の因子の影響を明らかにするとともに、流速により制御することにより粒子存在領域と加熱面の相対位置を変化させ、粒子の流動状態と熱伝達促進効果の関係について詳細な検討を行っている。さらに本論文では、低密度差固液流動層の熱交換器への実用を想定し、流動層内に水平加熱円管群を設置し、粒子の流動挙動および水平加熱円管群よりの熱伝達挙動に関して検討を行っている。流動層内に挿入する加熱管群の管径、管ピッチを変化させ、管群の熱伝達に及ぼす流速、粒子径、粒子物性等の影響を明らかにするとともに、平均熱伝達を与える整理式を提案している。

本研究における低密度差固液流動層の熱伝達特性に関する研究結果は、低密度熱エネルギーの回収に流動層熱交換器を応用する際の基礎資料を与えるのみならず、固液流動層の熱および物質伝達に関する従来の研究に対して新たな知見と指針を与えるものである。

これを要するに、著者は低密度差固液流動層の流動挙動および熱伝達特性に関して、伝熱工学的立場より研究を展開し、低密度差固液流動層の伝熱促進機器への適用条件等工業上有益な新知見を得たものであり、流動層の流動挙動と熱伝達に関する研究に対して重要な今後の指針を与えるものであり、伝熱工学の進歩に対して貢献するところ大である。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。