The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Studies on Heat Transfer Characteristics of Liquid Metal Lithium Flow under Magnetic Field
Author(s)	宇田, 直記
Citation	大阪大学, 2002, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/43371
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

氏　　名	宇　田　直　記（う　だ　なお　き）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　17067　号
学位授与年月日	平成14年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科原子力工学専攻
学　位　論　文　名	Studies on Heat Transfer Characteristics of Liquid Metal Lithium Flow under Magnetic Field （液体金属リチウム流の磁場中での熱伝達特性に関する研究）
論　文　審　査　委　員	（主査） 教　授　竹田　敏一 （副査） 教　授　飯田　敏行　　教　授　堀池　寛　　教　授　西嶋　茂宏 教　授　山中　伸介

論　文　内　容　の　要　旨

本論文は、核融合炉のブランケット冷却に用いられる液体金属の磁場中での流動伝熱メカニズムに関する研究をまとめたものであり、自然対流および強制対流下での熱伝達予測及び熱流動特性を実験及び解析結果に基づき評価している。本論文は以下の5章により構成される。

第1章は序論として、核融合の開発に関わる社会的背景からその必要性について言及し、現在未確定である磁場中での液体金属の流動熱伝達メカニズムの解明および、設計に不可欠な熱伝達予測式を得ることの重要性について述べた。

第2章では直交磁場下での自然対流の熱伝達と流動状態の相互関係について着目した研究について述べている。長時間定常状態を維持し完全に発達した自然対流を観測できる装置を用いて実験を行い、大規模な温度変化をもたらす磁場による流動分布の変化を、温度信号分析および数値計算手法により明らかにした。

熱伝達係数を定義するための参照温度点を、この流動分布に依存しないように設定する必要のあることを示し、最適参照点を用いて磁場中での熱伝達予測図を得た。磁場の印加に伴い熱伝達は単調に減少するが、強い磁場においても磁場無しの値の40%に相当する漸近値を持つことが明らかにされた。

第3章では直交磁場下での強制対流熱伝達特性を得るための高精度の温度測定を行い、普遍的な伝熱予測手法を確立した。実質的誘導電流を与える電流回路計係数K_Pを用いることにより、流路の形状や材質に依らない新しい標準化伝熱相関図が確立され、形状の異なる装置で得たデータを統一的に記述可能であることを示した。また、磁場の印加に伴う単調な熱伝達の減少という従来の予想に反し、熱伝達向上現象が特定の磁束密度領域において発生することを示した。

第4章では磁場中の強制対流熱伝達実験において観測される熱伝達向上現象についてそのメカニズムの解明についてまとめた。熱伝達の向上する実験条件下で明確な周期性を持つ温度信号が初めて系統的に調べられた。また、周期的温度変動を詳細に分析し、それに基づき伝熱面近傍に発生する渦列構造による物理モデルを新たに提案した。また、

新たに周期的温度変動波形の歪み度を定義し、物理モデルによる予測値と実験データとの比較を行い、良い一致を得てモデルの妥当性を検証した。熱伝達向上が渦列発生に伴う流体混合効果であることを示した。

第5章では本研究で得られた成果を総括し、本論文の結論とした。

論文審査の結果の要旨

原子炉や核融合炉の開発において、液体金属を冷却材として使用した熱輸送系の工学的設計、特に流動熱伝達特性の研究が非常に重要である。本論文は、液体金属リチウムを用いて、磁場を印可した際の流動熱伝達機構を解明した実験的研究についてまとめられたものである。得られた主な成果を要約すると以下の通りである。

1）磁場中の液体金属の自然対流熱伝達特性に関連して、プール内流動状態を実験的、解析的に探求し、熱伝達に対する直行磁場の効果を明らかにしている。これらの知見をもとに、磁場の効果を考慮した熱伝達予測手法を確立し、より精度の高い熱伝達予測式を得ている。

2）直行磁場中の液体金属の強制対流熱伝達に対する誘導電流の効果を明らかにしている。誘導電流を支配する電流回路係数を導入することにより、より広範に適用可能な伝熱予測法を確立し、形状・寸法が大きく異なる流路間で等しく成立するような、広いパラメータ範囲で適用可能な熱伝達予測式を得ている。

3）強制対流熱伝達における、特定の磁束密度範囲での熱伝達向上現象の存在と発生条件を詳細に調べている。伝熱面近傍の温度揺らぎを分析し、揺らぎの周期性と熱伝達特性の相関性を系統的に調査している。また、揺らぎの周波数分析に基づき、熱伝達の向上は磁場の効果により伝熱面近傍に発生する乱流の流体混合効果により説明可能であることを示している。

4）熱伝達を向上させる磁場中での特殊な流動について、渦列様乱流の発生に基づく物理モデルを提案している。また、この点に関し温度信号波形の歪み度を定義し、当該モデルによる予測値と実験データとの良い一致を得て、モデルの妥当性を検証している。

以上のように、本論文は核融合炉を視野に入れた液体金属熱伝達システムの開発に不可欠な、詳細な熱伝達予測データおよび磁場中での流動伝熱現象について明らかにしたものであり、伝熱工学の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。