

氏名	さかい 堺	たか 公	あき 明
学位(専攻分野)	博士 (エネルギー科学)		
学位記番号	エネ博第 51 号		
学位授与の日付	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		
研究科・専攻	エネルギー科学研究科エネルギー応用学専攻		
学位論文題目	高速炉の冷却系に関する伝熱・流動研究		

論文調査委員 (主査) 教授 塩津正博 教授 三島嘉一郎 教授 岩瀬正則

論文内容の要旨

今後の高速炉の概念の選択及びその実現のために、安全性を確保した上で、経済性のより高い冷却系システムを構築することが重要となっている。本論文は、そのために特に重要と考えられる「円柱状構造物の流力振動」、「ナトリウムの沸騰開始過熱度」及び「重金属冷却高速炉の熱流動特性評価」に関する研究結果をまとめたものであり、5章からなっている。

第1章は、研究概要であり、研究を実施するに至った背景、研究意義と成果概要、論文の構成について示している。安全性と経済性を重視した高速炉の冷却系構築に資することを目的としている。

第2章は、冷却系の安全性の観点から温度計などで破損の原因となる「円柱状構造物の流力振動」について、実験的研究と解析的研究についてまとめている。実験的研究では、流力振動に関する設計基準を実プラントに適用するにあたり、渦励振の回避・抑制評価条件、及び、乱流励振評価条件について、高レイノルズ数領域での適用性を実験的に検証している。また、解析的研究では、流体-構造連成による数値解析によって同期振動を再現するとともに、流れ方向振動の原因と言われる対称渦について、対称渦形成に必要な最小時間が渦励振の回避条件に相当することを見出し、設計基準に対する現象的な説明を提案している。

第3章では、高速炉の冷却系の安全性の観点から、急激な出力上昇につながる冷却材沸騰を防止するため、「ナトリウムの沸騰開始過熱度」について、実験的に研究した結果を示している。ナトリウムの沸騰開始過熱度は、データの分散が大きいととも、支配因子の多さから、それらの現象的解明には至っていない。プール沸騰条件において、酸素濃度が沸騰開始過熱度へ及ぼす影響について実験の結果、系圧力 3kPa (液温863K) と 7kPa (液温923K) については、沸騰開始過熱度に対する酸素濃度の依存性が現われたが、系圧力 14kPa (液温973K) と 25.9kPa (液温 1023K) については、酸素濃度の依存性は現われないことが明らかになった。これは、加熱表面の酸化特性に温度依存性があるためと考えられ、高精度でコールドトラップ温度を制御する事によって酸素濃度を制御した本研究によって、それらの依存性を示すことができた。

さらに、流速の影響に関して強制循環実験を行い沸騰開始過熱度は流速の増大にもなって低下することを確認した。また、表面に溝のある試験体では、明らかに沸騰開始過熱度は低下したが、依然、流速の影響がみられたことから、活性キャビティからの発泡を想定した現象的なモデルを提案した。本モデルによれば、水の条件において流速の増大とともに沸騰開始過熱度が増大すること、R-113 冷媒において沸騰開始過熱度が流速によらず一定となること、そして、ナトリウムにおいて、沸騰開始過熱度は、流速の増大にもなって低下することが、統一的に説明可能であることを示した。

第4章では、より安全性と経済性の高い冷却系システムを構築する観点から、「重金属冷却自然循環高速炉の熱流動特性」について評価した結果を示している。重金属冷却炉と体系が類似したヘリカルコイル型の蒸気発生器 (SG) 実験データを用いて多次元熱流動特性解析コードを検証した。重金属冷却炉としては、鉛-ビスマス冷却自然循環中小型炉が有望概念として選択されており、鉛-ビスマス冷却自然循環炉に特徴的な崩壊熱除去特性を評価することとした。自然循環炉は、定格条件にて自然循環流量が確保されていることから、流量喪失型の過渡事象を想定する必要がないこと、全般的に緩慢な温度

変化挙動を示すことが明らかになった。また、完全自然循環高速炉について1次系に設置した崩壊熱除去系を用いた解析を実施した。温度分布が安定するまで、過渡的に自然循環流量が喪失する瞬間があるが、概ね十分な除熱が確保される見通しが得られた。

第5章は、本論文で得られた成果を総括して結論としている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、安全性と経済性の高い高速炉の冷却系を構築する観点から、特に重要と考えられる「円柱状構造物の流力振動」、「ナトリウムの沸騰開始過熱度」及び「重金属冷却高速炉の熱流動特性評価」に関する研究結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

(1)「円柱状構造物の流力振動」についての実験的研究によって、渦励振の回避・抑制条件、及び、乱流励振評価条件に関して、高レイノルズ数領域での適用性を実験的に検証した。また、新たに開発した減衰を制御可能な試験体によって渦励振の抑制効果を定量的に確認した。

(2)「円柱状構造物の流力振動」についての解析的研究によって、流れ方向振動の原因と言われる対称渦について、急出発円柱実験と解析の比較を実施し、対称渦形成に必要な最小時間が振動回避条件に相当することを見出し、回避条件に対する現象的な説明を行うことができた。

(3)「ナトリウムの沸騰開始過熱度」についてプールナトリウム中で実験を行い、沸騰開始過熱度は、系圧力 3kPa (液温 863K) と 7kPa (液温 923K) では、酸素濃度に依存するが、系圧力 14kPa (液温 973K) と 25.9kPa (液温 1023K) では、依存性が殆ど見られないことを明らかにした。沸騰開始過熱度は、加熱表面の酸化特性に影響を受けると考えられ、高精度でコールドトラップ温度を制御することで酸素濃度を制御した本研究によって、それらの依存性を示すことができた。

(4)「ナトリウムの沸騰開始過熱度」について流速の影響に関する強制循環実験を行い沸騰開始過熱度は流速の増大にともなって低下することを確認した。流速依存性について活性キャビティからの発泡を想定した現象論的モデルを導出した。本モデルによれば、水の場合に流速の増大とともに沸騰開始過熱度が増大すること、R-113 の場合に沸騰開始過熱度が流速によらず一定となること、さらに、ナトリウムの場合に沸騰開始過熱度が流速の増大にともなって低下することが統一的に説明可能であることを示した。

(5)「重金属冷却高速炉の熱流動特性評価」について、鉛-ビスマス冷却自然循環炉の基本的な熱流動特性を評価した。その結果、自然循環炉は、定格条件にて自然循環流量が確保されていることから、流量喪失型の過渡事象を想定する必要がないこと、一般的に緩慢な温度変化挙動を示すことが明らかになり、概ね十分な除熱が確保される見通しが得られた。

以上要するに、本論文は高速炉の冷却系に関して、安全性を確保する上で1つの鍵となる温度計等の流力振動特性評価手法について技術的確認を行うとともに、安全上重要なナトリウム沸騰開始過熱度について実験データの蓄積と流速依存性に関する一般的モデルの提案を行い、さらには、安全性及び経済性を追求した重金属冷却自然循環炉の基本的な熱流動特性を評価したものである。得られた成果は学術上、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(エネルギー科学)の学位論文として価値のあるものと認める。また、平成14年2月20日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。