

氏名	KHOIRUL HUDA <small>ノイルル フダ</small>
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	工博第1818号
学位授与の日付	平成11年3月23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	工学研究科原子核工学専攻
学位論文題目	STUDY ON TWO-PHASE FLOW STRUCTURE IN ROD BUNDLE GEOMETRY (ロッド・バンドル内の二相流構造に関する研究) (主査)
論文調査委員	教授 芹澤昭示 教授 小森 悟 教授 三島嘉一郎

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は加圧水型原子炉蒸気発生器における伝熱細管破断事故の原因とされている気液二相流による流体弾性振動を解明するための基礎研究として、蒸気発生器内逆U字管群流路を模擬し、格子及び千鳥配列状に配列された傾斜管群流路内の気液二相流動機構を実験と数値解析の両面から考察した結果をまとめたものであり、全7章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的、従来の研究との関連から見た本論文の位置づけを明らかにし、また、研究全体の構成を説明したものである。

第2章では、本研究全体を通して用いた種々の実験装置及び実験方法、計測手法などについて述べている。特に傾斜管群配列は実機に近い形状が設定されている。

第3章では、水平及び傾斜管群内を流れる単相流及び空気-水系気液二相流における渦の発生に及ぼす管群の傾斜角や配列の影響を実験的に明らかにすると共に、数値シミュレーションによる解析を行い、両者が良好に一致することを確認している。特に傾斜管群での流れ場は傾斜軸に沿う渦流れや水平方向の圧力勾配に基づく二次流れの存在が明らかとなり、気液二相流の流れのパターンに大きな影響を与えることが明らかにされた。

第4章では、水平及び傾斜管群流路における単一気泡挙動を詳細に観察し、管群に気泡が衝突した際の気泡の剛体性や反跳機構を明らかにした。また、気泡衝突時の反撥係数を定量的に求めると共に、反跳時の気泡の回転や体積振動、さらにはラグランジュ的に記述された気泡の運動方程式と $k-\epsilon$ 乱流モデルによる液相運動を連成した数値シミュレーションの結果を総合して、仮想質量力、揚力、圧力勾配に基づく力などを評価した。さらに、気泡の相対運動に基づく付加的乱流生成機構として気泡のジグザグ運動に起因する渦の放出現象を見出し、従来の後流モデルの見直しを提案している。

第5章では水平及び傾斜管群流路内気泡流及びチェーン流における相分布、気泡数分布、気泡径分布、気泡速度分布などを測定し、流れのマクロ構造に与える気液流量、管群の傾斜角や配列の影響を考察している。特に、円管内気液二相流特性と異なり、傾斜管群内の相分布は不均一で極めて複雑な特性を示すこと、そしてこのような特性が従来から知られている *bubble segregation* を含めて4つの機構によつて説明できることを新たに見出した。

第6章では、水平及び傾斜管群流路内気液二相乱流特性を測定し、その結果に基づいて乱流機構を考察している。傾斜管群流路では壁乱流に加えて、管群グリッドによる乱れ渦の発生と細分化、乱流散逸、管群によつて誘起される速度勾配による乱れの生成、気液の相対運動に伴う付加的乱れの生成と散逸、変形気液界面によるダンピング効果などが予想されるため、乱流特性に及ぼす気液流量条件や管群傾斜角などの影響は極めてランダムとなり、系統的な依存性が見られないことを明らかにしている。

第7章では、本研究で得られた成果をまとめて結論とし、今後の展望についても言及している。

## 論文審査の結果の要旨

加圧水軽水炉蒸気発生器における伝熱細管破断事故の主要な原因とされている気液二相流による流体弾性振動の機構解明は加圧水型原子炉の信頼性や安全性の向上を図り、より適切な工学的設計を展開する上で極めて重要である。本論文は蒸気発生器内逆U字管群を模擬した傾斜管群流路内の気液二相流動機構を実験と解析の両面から究明したもので、得られた成果を要約すると以下の通りである。

1. 水平及び傾斜管群流路における渦の発生に及ぼす傾斜角や配列の影響について実験及び数値解析を行い、液単相流れ、気液二相流の何れの条件下でも両者が良好に一致することを確認した。
2. 水平及び傾斜管群流路における単一気泡挙動を詳細に観察し、管群に気泡が衝突する際の気泡の持つ剛体性や反跳機構、気泡による連続相内の付加的乱れ生成機構を明らかにした。
3. 管群流路内の流体弾性振動に大きな影響を与える流路内相分布機構を律する気泡の横方向輸送機構に4つの機構があることを見出し、また、仮想質量力、圧力勾配による力を評価し、管群流路内二相流動シミュレーションへの適用性を考察した。
4. 気泡流及びチャーレン流領域における相分布、乱流分布、気泡数分布、気泡径分布、気泡速度分布等を測定し、流れのマクロ構造に与える管群の傾斜角や配列の影響を明らかにした。特に傾斜管群流路内の相分布は単純形状流路内相分布と著しく傾向が異なり、非均質性の強い流れ場が形成されることを明らかにした。

以上、本論文は加圧水型原子炉蒸気発生器の信頼性・安全性に関連して重要な流体弾性振動に係わる気液二相流動機構を考察し、多くの有用な知見を提供したものであり、その成果は学術上、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（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成11年2月18日、論文内容とそれに関連した事項について試問した結果、合格と認めた。