

| | |
|-------------|--|
| Title | Experimental study of liquid film flow in simulated nuclear fuel rod assembly(Abstract_要旨) |
| Author(s) | Kamei, Takashi |
| Citation | Kyoto University (京都大学) |
| Issue Date | 2002-07-23 |
| URL | https://doi.org/10.14989/doctor.k9777 |
| Right | |
| Type | Thesis or Dissertation |
| Textversion | author |

| | |
|----------|--|
| 氏 名 | かめ い たか し 亀 井 敬 史 |
| 学位(専攻分野) | 博 士 (工 学) |
| 学位記番号 | 工 博 第 2187 号 |
| 学位授与の日付 | 平成 14 年 7 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 | Experimental Study of Liquid Film Flow in Simulated Nuclear Fuel Rod Assembly (原子炉模擬燃料集合体上を流れる液膜流に関する実験的研究) |
| 論文調査委員 | (主 査) 教授 芹澤昭示 教授 吉田英生 教授 三島嘉一郎 |

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は沸騰水型原子炉の燃料棒の健全性や除熱限界を律速する燃料集合体内の燃料棒表面を流れる液膜流表面波構造や液膜流の時空間分布に及ぼすスペーサの影響について詳細な測定を行い、貴重なデータベースを提供するとともに物理モデル構築に必要な諸現象を解明した結果を取り纏めたものであり、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章は、液膜流特性の多次元時空間分布測定手法として、新たに開発したレーザー誘起蛍光法(蛍光染料法)を応用した気液界面検出法、並びに超高速超音波エコー法についての測定原理、測定装置、時空間領域における解像度等の測定精度、及びそれら開発した測定手法の有効性に対する検証試験結果について述べたものである。蛍光染料法では蛍光寿命の短い蛍光剤を用いることにより、時間分解能1ミリ秒、空間分解能80マイクロン、また、超音波エコー法では空間分解能75マイクロン、スキャン時間3ミリ秒の高精度、超高速測定が可能となり、本測定手法の有効性が確認された。

第3章では、水平矩形管内を流れる空気-水系液膜流の表面波構造や多次元時空間挙動を蛍光染料法により詳細に測定し、リップル波や団塊波、擾乱波等の瞬時局所的挙動や統計的特性を明らかにした。

第4章は、水平矩形管内を流れる空気-水系液膜流構造に及ぼす平板型スペーサの前縁及び後縁のエッジ構造の影響を蛍光染料法により実験的に詳細かつ系統的に解析・検討したもので、従来の研究では明らかにされていなかった液膜流の多次元挙動を初めて明らかにし、その物理モデルを構築すると共に、エッジ構造の影響を定量的に評価した。

第5章は、複雑体系(原子炉燃料集合体)を単純化した垂直環状流路の内管外表面を上昇する空気-水液膜の多次元構造を超高速多次元超音波エコー法により測定した結果を取り纏めたものである。特に液膜流表面波構造変動の周期性やリップル波及び擾乱波の発生周期、サイズ等について新たな知見を得た。

第6章では、沸騰水型原子炉燃料集合体内燃料棒とスペーサ配置を模擬した3×3本管群と実機仕様の丸セル型スペーサを有する57ミリ×57ミリの矩形流路内を垂直上昇する空気-水液膜流の多次元動的挙動を超高速多次元超音波エコー法により詳細に測定した。特に、スペーサ前縁部上流領域、スペーサ部領域、後縁部下流領域における液膜表面波構造や液膜流の流体力学的特性を実験的に詳細に明らかにするとともに、スペーサの内部構造の及ぼす影響を初めて定量的、定性的に評価した。さらに、流れ方向や模擬燃料棒周方向の液膜厚さ分布の瞬時及び時間平均挙動から、異なるサブチャンネル形状に対する液膜挙動や液滴挙動の依存性についても言及した。

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

沸騰水型原子炉炉心内には燃料集合体を構成する燃料棒の長さ方向にはほぼ50cm間隔でスペーサが設けられている。燃料

棒表面を流れる液膜流はこのスパーサの存在によって著しい影響を受けるため、原子炉炉心の熱的健全性や除熱限界の評価に当たっては、燃料集合体の異なるサブチャンネル内でスパーサによる影響を考慮した液膜流の時空間分布や液膜流界面波構造の詳細な知見が求められている。本論文は水平流路内に置かれた流路障害物が液膜流構造に及ぼす影響を実験的に解析した結果、並びに沸騰水型原子炉炉心を模擬した3×3本管群流路を用いて、新たに開発した多次元瞬時液膜挙動測定用超音波エコー法を駆使して液膜流挙動の詳細な測定を行った結果を取りまとめたものである。得られた成果の概要は以下の通りである。

1. レーザー励起蛍光染料法を用いて液膜挙動の3次元時空間変動特性を高精度で測定できる手法を新たに開発し、流路障害物が存在する水平矩形流路内を流れる薄液膜流のもつ一般的特性を詳細に評価・検討し、新たな知見を得た。
2. 沸騰水型原子炉模擬燃料集合体サブチャンネル内流れに適用できる空間解像度75ミクロン、スキャン時間3ミリ秒という高精度、超高速、3次元時空間対応の超音波エコー法を新たに開発し、異なるサブチャンネル内の模擬燃料棒表面を流れる薄液膜流特性について、周方向及び流れ方向のすべての位置で高精度、超高速多次元測定を可能とした。
3. 開発した超高速多次元超音波エコー法を用いて、垂直環状流路内管表面を上向きに流れる空気-水環状液膜流の流動測定を行い、液膜厚さや表面波構造等に及ぼす流路の幾何形状や姿勢の影響を実験的に明らかにすると共に、開発した超音波エコー法の有効性を検証した。
4. 沸騰水型原子炉炉心の燃料集合体を模擬し、主流方向の3箇所丸セル型スパーサを有する3×3本管群矩形流路内を垂直上昇する空気-水環状噴霧流の液膜流特性を超音波エコー法により詳細に測定し、過酷事故時の熱的限界を律速する液膜流がスパーサによって著しく影響されることを初めて精度良く定量的に示すと共に、そのスパーサの内部構造に対する依存性、表面波構造を実験値に基づき評価・検討し、物理モデルを提案した。

以上の成果は、沸騰水型原子炉の燃料集合体表面を流れる液膜流の構造及び液膜流に及ぼすスパーサの影響を詳細な測定結果に基づいて明らかにし、新しい知見を示したもので、その成果は学術上、実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14年6月20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。