

氏 名	まつ とう けい ぞう 松 浦 敬 三
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2008 号
学位授与の日付	平 成 13 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	噴霧流及び環状噴霧流における液滴挙動に関する数値解析的研究

論文調査委員 (主 査) 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

本論文は軽水冷却型原子炉炉心の熱的限界を律する高クオリティ気液二相流領域における液滴乱流拡散、液滴伝達機構の解明及び液滴挙動の一般的評価手法の開発とその高度化を目的として、最新の知見を導入し構築した解析モデルによる数値解析を中心に現象の解明を行った研究成果を取りまとめたものであり、全6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章は液滴の乱流拡散挙動解析を展開したもので、離散化手法として有限体積法を、圧力解法として SIMPLE 法を、また乱流モデルとして低 Re 数型 $k-\varepsilon$ モデルを用いた流体解析とラグランジュ記述による液滴挙動解析とから成り立っている。特に、乱流気流中での噴霧液滴と乱流渦との相互作用を記述する eddy interaction model では、乱流渦寿命、乱流渦サイズに関する確率モデル、乱流の非等方性、ストークス数による判定条件の導入、自己整合性を考慮したラグランジュ積分時間の評価と時間ステップ制御等々の改良を加えた新しい解析手法を開発した。このモデルに基づいて構築した解析コードを既存のデータベースと比較検証し、液滴の乱流拡散挙動が精度よく予測できること、及び液滴の初期変動速度が拡散挙動に大きな影響を与えることを明らかにした。

第3章では前章で開発した液滴挙動解析コードを用いて液滴伝達実験データベースとの比較検証を行い、従来、予測精度や適用範囲に問題が多かった液滴伝達係数に関する種々の構成方程式の一般的な評価方法を検討した。特に、分散相による乱流変調、壁面付近の速度場、乱流の非等方性、液滴径分布を考慮し、PSI-CELL モデルに準拠した Two-way coupling 法による液滴伝達解析を行い、既存の測定結果との比較検証によりその有効性を確認すると共に、液滴伝達に及ぼす支配因子を明らかにした。

第4章では実機で想定される環状噴霧流における液滴解析モデルを構築するため、液膜流擾乱波構造、液膜流からの液滴発生、気相流れにおける液滴乱流拡散を考慮した環状噴霧流に対する液膜セルモデルを考案し、従来の3流体モデルでは計算できなかった流路内の液滴質量流束の多次元分布の予測を行った。この解析では流体解析とともに液滴についてはラグランジュ的に個々にその挙動を解析することで液膜への伝達を評価した。既存のデータベースとの比較検証から、本論文で展開した解析モデルの有効性を確認すると共に、原子炉炉心等実機の熱的限界を律する液膜流量計算を高精度で可能とした。

第5章では原子炉燃料集合体の燃料棒を固定する燃料棒スペーサーを模擬した流路障害物周りの環状噴霧流液滴伝達モデルを構築し、垂直円管内空気-水上昇流でスペーサー領域での液膜流量の変化を測定した既存の実験結果と比較検証し、流路障害物が液滴挙動や液膜流挙動に与える影響を数値解析的に検討した。その結果、本論文で展開した数値解析モデルが実験で観察されたスペーサー下流域における液滴伝達促進による液膜流の増大を定量的に良好に予測できることを明らかにした。

第6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

本論文は、原子炉冷却材喪失事故時や過酷事故時の原子炉炉心の熱的限界や安全性、信頼性等に大きな影響を与える気液二相流流動様式の1つである環状噴霧流や噴霧流における液滴挙動の機構解明を目指したものであり、液滴の乱流拡散や液滴伝達が液滴-乱流渦相互作用、液滴速度の初期変動特性、液滴径分布等に大きく依存することを結論として示している。また、既存の実験データベースとの比較から本論文で開発した数値解析手法の妥当性を検証すると共に、実用機器で遭遇するスパーサー等の流路障害物を有する体系への適用性を確認した。得られた主な成果は以下の通りである。

1. 液滴-乱流渦相互作用モデルとして、乱流渦寿命、乱流渦サイズに関する確率モデル、乱流の非等方性、ストークス数による判定条件の導入、数値積分における時間ステップ制御等々を考慮した新しい解析手法を開発し、既存の液滴拡散に関する実験データベースを用いてその有用性を検証した。
2. 液滴伝達挙動解析で重要な液滴-気相相互作用に関する Two-way coupling 法として、液滴の乱流エネルギー保存式、乱流消散式に液滴による生成項をそれぞれ考慮したモデルを開発し、既存の実験データベースとの比較から、液滴速度の初期変動特性、壁面近傍の速度場や液滴径分布が液滴伝達を律速する重要なパラメータであることを明らかにした。また、乱流の非等方性の影響は2次的であることを明らかにした。
3. 流体解析における境界条件としての液膜流擾乱波構造、液膜流からの液滴エントレーメント、気相流れによる液滴乱流拡散を考慮した環状噴霧流解析モデルを構築し、環状噴霧流中での液滴伝達、液滴質量流速の管内多次元分布の予測、そして実機の熱的限界を律速する液膜流量計算を高精度で可能とした。
4. 液滴と流路障害物との相互作用項として、任意の反発係数をオプションとして選択できる液滴-障害物衝突モデルを新たに導入し、スパーサー等の流路障害物を有する実機体系への解析コードの適用を可能とした。

以上、本論文は軽水冷却型原子炉等の熱的限界や安全性・信頼性に関連して重要な高クォリティ気液二相流領域における液滴乱流伝達機構を明らかにし、新しい知見を示すと共に、原子炉炉心等の実機にも高精度で適用可能な解析手法の開発を行い、機器の安全性、信頼性向上に大きく貢献するものであり、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13年1月19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。