



Title	粒子追跡型数値解析技術に基づく沸騰遷移出力予測の信頼性向上
Author(s)	山本, 泰
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/27544
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	やまもと やすし 山 本 泰
博士の専攻分野の名称	博 士（工学）
学 位 記 番 号	第 2 5 7 1 8 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 24 年 12 月 18 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科機械物理工学専攻
学 位 論 文 名	粒子追跡型数値解析技術に基づく沸騰遷移出力予測の信頼性向上
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 片岡 勲 (副査) 教 授 赤松 史光 電気通信大学情報理工学研究科知能機械工学専攻教授 大川 富雄 准教授 吉田 憲司

論 文 内 容 の 要 旨

沸騰水型原子炉燃料（以下、BWR 燃料）の沸騰遷移発生が開始する出力である限界出力を予測する目的のサブチャンネル解析手法があるが、入力パラメータを実験結果に基づいてチューニングする必要があり、本来の意味での予測は困難であった。本研究は、この課題を解決することを目的として実施した。はじめに BWR 燃料の沸騰遷移現象について調査した。特に、燃料棒間隔を保持する複数個のスペーサが BWR 燃料の沸騰遷移現象及ぼすメカニズムについて、実験的に解明を試みると共に、サブチャンネル解析と CFD 解析を組み合わせることでスペーサ形状による限界出力変化の予測を試みた。その結果、スペーサの直上流でスペーサの影響により液膜の流れが阻害され、限界出力を低下させる効果は小さいこと、スペーサによる蒸気流の乱れによる液滴付着促進効果をサブチャンネル解析コードに組み込むことで、スペーサ形状変更による限界出力への影響を定性的に評価できることを示した。

次に、スペーサ形状変更に伴う限界出力変化の定量的予測を目的として気相を Large Eddy Simulation、液滴挙動をラグランジュ法により解くことで、二相流中に構造物が存在する流れ場の液滴挙動を解析した。液滴は変形等を考慮せず、剛体粒子として模擬した。この結果をサブチャンネル解析コードの入力とすることでスペーサ形状変更による限界出力変化の定量的予測が可能であることを示した。また、限界出力に影響が大きい液滴付着率に関する基礎的な検討を実施した。完全に発達した円管内乱流中の液滴緩和時間、気相 Re 数の液滴付着率に及ぼす影響について、液滴に加わる抗力に加えて揚力も考慮した数値解析を用いて調査した。その結果、壁面座標系で無次元化した液滴緩和時間 τ^+ が 20 以下の小さい粒子は主に揚力によって壁面へ付着した。20 $\leq \tau^+ < 100$ の粒子に対しては慣性力と揚力の両方が影響し、それよりも大きい粒子に対しては、慣性力が粒子付着を妨げる方向に作用するようになることが示された。また気相 Re 数により液滴付着率が変化することも示した。

さらに液滴濃度の液滴付着率への影響について調査した。その結果、粒子付着率は粒子濃度が増加するほど減少した。液滴付着率の液滴濃度依存性の解析結果は経験的な相関式と良く一致した。また、液滴濃度の増加とともに、気相の乱流変動速度は減少した。この傾向は、液滴付着率の傾向と同様であり、乱流変動速度と粒子付着率には強い相関がみられた。粒子による乱流の変調が、高粒子濃度条件における粒子付着率の減少の主たる原因の一つであることを示した。また解析結果を元に、液滴濃度と液滴付着率の関係を記述する相関式を提案した。

以上、本研究ではサブチャンネル解析手法というマクロな解析手法に液滴挙動解析というよりミクロな手法を組み合わせ BWR 燃料の限界出力予測を可能とすることができた。このように、より詳細な二相流解析結果から得られる情報を、よりマクロな二相流解析に入力値や相関式という形で反映させることで二相流解析評価の信頼性向上につなげることができると考ええる。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

沸騰水型原子炉燃料（以下、BWR 燃料）の沸騰遷移発生が開始する出力である限界出力を予測するサブチャンネル解析手法があるが、これまでの手法では予測に用いるパラメータを実験結果に基づいて経験的に与える必要があり、実験結果を用いることなく純粋に解析的に予測することは困難であった。本研究は、この課題を解決し解析により限界熱流束を予測する手法を確立したものである。

まず BWR 燃料の沸騰遷移現象について調査した。特に、流れによって生ずる燃料棒の振動抑制、および燃料棒間隔を保持するため複数個のスペーサが BWR 燃料の沸騰遷移現象及ぼすメカニズムについて、実験的に解明を行うと共に、サブチャンネル解析と CFD 解析を組み合わせることでスペーサ形状による限界出力変化の予測手法を開発した。その結果、スペーサの直上流でスペーサの影響により液膜の流れが阻害され、限界出力を低下させる効果は小さいこと、スペーサによる蒸気流の乱れによる液滴付着促進効果をサブチャンネル解析コードに組み込むことで、スペーサ形状変更による限界出力への影響を評価できることを示した。

次に、スペーサ形状変更による限界出力変化の定量的予測を目的として気相を格子乱流モデル (Large Eddy Simulation (LES))、液滴挙動をラグランジュ法により解くオイラーラグランジュ (Eulerian-Lagrangian (E-L)) コードを用いて、二相流中に構造物が存在する流れ場の液滴挙動を解析した。液滴は変形等を考慮せず、剛体粒子として模擬した。この結果をサブチャンネル解析コードの入力とすることで実験結果を用いることなくスペーサ形状変更による限界出力変化の定量的予測が可能であることを示した。

また、限界出力に影響が大きい液滴付着率に関する基礎的な検討を実施した。完全に発達した円管内乱流中の液滴緩和時間、気相レイノルズ数 Re の液滴付着率に及ぼす影響について、液滴に加わる抗力に加えて揚力も考慮した数値解析を用いて調査した。その結果、壁面座標系で無次元化した液滴緩和時間 τ^+ が 20 以下の小さい粒子は主に揚力によって壁面へ付着した。20 $\leq \tau^+ < 100$ の粒子に対しては慣性力と揚力の両方が影響し、それよりも大きい粒子に対しては、慣性力が粒子付着を妨げる方向に作用するようになることが示された。また気相 Re 数により液滴付着率が変化することも示した。

さらに液滴濃度の液滴付着率への影響についても検討を行った。その結果、粒子付着率は粒子濃度が増加するほど減少した。液滴付着率の液滴濃度依存性の解析結果は経験的な相関式と良く一致した。また、液滴濃度の増加とともに、気相の乱流変動速度は減少した。この傾向は、液滴付着率の傾向と同様であり、乱流変動速度と粒子付着率には強い相関がみられた。粒子による乱流の変調が、高粒子濃度条件における粒子付着率の減少の主たる原因の一つであることを示した。また解析結果を元に、液滴濃度と液滴付着率の関係を記述する相関式を提案した。

以上のように、本論文は BWR 燃料の限界出力を解析的に予測する手法を確立するとともに、それに関連する種々の物理的な素過程を解明し、有用な相関式を提案している。この結果は基礎的な学術分野においても、また実際の機器への応用においても極めて有用なものである。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。