



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Improvement of Accuracy and Reliability on BWR Thermal-Hydraulic Analysis Code by Newly Modified Interfacial Drag Force Models [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	尾崎, 哲浩
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13343号
Issue Date	2018-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/71807
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Tetsuhiro_Ozaki_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 尾崎 哲浩

学 位 論 文 題 名

Improvement of Accuracy and Reliability on BWR Thermal-Hydraulic Analysis Code by
Newly Modified Interfacial Drag Force Models

(最先端の知見に基づく界面せん断力モデルを用いた BWR 熱水力解析コードの精度と信頼性向上に関する研究)

原子力発電施設を対象とした熱水力解析コードは、運転時の異常な過渡変化、設計基準事故などのプラントの動的な振る舞いを評価し、想定する事象に対するプラントの安全性を確認する目的で開発され、使用されてきた。近年の計算機性能の向上、原子力発電所の安全性と経済性の最適化の必要性から、プラント安全評価に用いる熱水力解析コードは、より現象を忠実に表現できるように、研究開発が進められ、発展してきた。従来から、解析コードは実験データをシミュレーションが再現できることを拠り所として、解析コードの信頼性を確保してきている。しかしながら、実験体系と実機とでは空間的・時間的な初期・境界条件が相違する例が多く、解析コードが実機で想定する事象に対して適格に再現できることが求められるようになってきている。このため、最近では、解析コードの信頼性を高める一つの手段として、解析コードに含まれる近似を実現可能な限り排除して、厳密な解析手法を取り入れるように発展してきている。このような要求を受けて構築する解析コードの信頼性は、適切な基礎方程式及び数値計算モデルを用いるとともに、解析コードに内在する構成式を適切に選定することが必要である。

二流体解析コードにおいて、気液界面せん断力は、二相流の特徴的なパラメータであるボイド率を計算する上で、重要な役割を持つ。軽水炉プラントにおいて、ボイド率は、核的フィードバック、圧力損失、炉心内の流量配分、二相水位、流れ誘起の水力振動に対して大きな影響を及ぼすことが知られている。

1 次元二流体コードの運動量方程式において重要な界面せん断力項は、気相と液相の相対速度、抗力係数、界面積濃度などのパラメータに基づき与えることができる。断面平均化した界面せん断力項には、ボイド率及び流速の空間分布を考慮する必要がある。従来のモデルでは、ドリフトフラックスモデルにおける断面平均化の考え方を応用して、1 次元二流体コードに適用できる界面せん断力項を定式化している。一方で、近年の研究では、断面平均相対速度は、厳密にはボイド率空間分布の Covariance が必要であることを示しており、円管及びバンドルを対象としたボイド率分布の Covariance を与える構成式が提案されている。これらの Covariance モデルを 1 次元二流体コードに実装することにより、ボイド率分布の一様性近似を排除でき、解析コードの厳密化に寄与すると考えられる。しかしながら、現状の 1 次元二流体コードの運動量方程式は、壁面摩擦項をボイド率が一様と仮定して導出できるモデルを用いている。したがって、Covariance モデルを考慮する場合、運動量方程式をどのように適切に与えるべきかについては、これまでに、有用な知見がない。また、現状の 1 次元二流体コードは、ボイド率分布を一様と仮定した近似を用いていること

となるが、このような現行コードの近似方法が、界面せん断力モデルを厳密に与えた場合の定式化と比較して妥当な水準であるかは、コードの信頼性を確保する上で実施が必要な検討であると考えられる。本研究では、このような課題に対して、円管及びバンドルを対象として、ボイド率分布の Covariance を 1 次元二流体コードに適用した場合の影響を考察し、Covariance モデルを導入した場合の運動量保存式の適切な定式化を検討した。

また、界面せん断力モデルに関する他の課題として、界面せん断力項は二相流の界面構造の相違に依存して変化するため、流動様式に応じて構成式を切り替える場合、計算結果に不連続が生じ、数値的不安定を誘発する場合がある。この課題を受け、二相流の界面構造を界面積濃度輸送方程式によって表現する方法が提案され、これまでの研究においても界面積濃度輸送方程式評価モデルの適切性を検討している。一方、界面積濃度輸送方程式は、(1) 正確な予測のために、適切な初期値を与える必要があること、(2) source term の各項には非常に多数の係数が必要であり、これらの係数の妥当性を確認が困難であること、(3) source term に含まれる係数は、流路幾何形状に依存すると考えられること、(4) 構成式のデータベースは大気圧、水 - 空気条件及び定常条件であり、原子力プラントへの適用を考えた場合は、スケラビリティ (拡張性) に問題があることなど、Verification & Validation (V&V: 検証と妥当性確認) 手法を適用しようとする場合に多数の解決すべき困難を有する。

最近の研究では、界面せん断力の特徴的な相違から、気泡流中の球形気泡を 1 群気泡、スラグ流中の Taylor 気泡、cap bubbly/cap turbulent 中の cap 気泡及び churn turbulent flow regime 中の気泡を 2 群気泡に分類した 2 群の界面積濃度を予測する構成式が提案されている。これらの構成式は、界面積濃度輸送方程式の煩雑さ、計算負荷の増大の問題点を解決できるものであるが、二流体コードに組み込んだ場合の構成式の適切性、不確かさの影響などについては、これまでの研究では有用な知見がないのが現状である。

本研究では、この課題に対して、2 群の界面積濃度モデルをベースとして、1 次元二流体コードの界面せん断力項を定式化、各種個別効果試験データとの比較、流動様式遷移に対応した条件での数値計算安定性を評価した。さらに、界面積濃度及び抗力係数は不確かさが小さくないことから、界面積濃度及び抗力係数の不確かさが計算結果に及ぼす影響について検討した。また、実機プラントを想定した過渡解析を実施し、過渡計算に及ぼす影響についても検討した。

本研究の実施により、Covariance を厳密に考慮する場合の運動量方程式が明確に定式化され、従来よりも厳密な熱水力解析コードモデルを構築することができた。一方、この厳密化によるシミュレーションへの影響は、多くのシミュレーションの条件において軽微であり、従来のボイド率分布を無視した近似の有効性を明らかにした。また、界面積濃度モデルを用いた界面せん断力モデルの検討においては、界面積濃度がシミュレーション結果に及ぼす影響が限定的であることを明らかにした。