

合同セッション1（「原子炉における機構論的限界熱流束評価手法」研究専門委員会，  
熱流動部会，計算科学技術部会）

数値シミュレーションの現状と限界熱流束評価に向けた課題  
Current status of Numerical Simulation and Issues for CHF Evaluation

沸騰現象の CFD における課題と現状

Current Status and Issues for CFD Simulation of Boiling Phenomena

\*伊藤 啓<sup>1</sup>

<sup>1</sup>京都大学

## 1. はじめに

昨今、沸騰現象の CFD に関する様々なモデルが提唱されており、ミクロスケールからマクロスケールまで多種多様な解析が実施されている。本報告では、それらの沸騰解析モデルの現状について整理し、特に限界熱流束予測への適用性に関して、各モデルの利点や欠点（限界）を示す。

## 2. マクロスケールにおける沸騰現象解析

マクロスケールにおける沸騰現象の CFD は、平均流モデルと界面解析モデルに大別でき、平均流モデルとしては混合流モデルや二流体モデル、界面解析モデルとしては界面追跡法や粒子法が該当する。平均流モデルを用いた解析は、比較的計算負荷が小さい反面、沸騰現象の再現性は熱伝達や沸騰のモデル次第であり、沸騰開始点や限界熱流束の予測性には疑問が残る。一方、界面追跡法や粒子法は界面変形を直接計算するため、沸騰気泡の成長挙動などを平均流モデルよりも正確に計算することは可能であるが、格子解像度を高める必要があるため解析負荷は大きく増加する。それでも、壁面での沸騰核や Microlayer を解像することは難しく、限界熱流束予測のためには、壁面近傍のミクロスケールの現象をどのようにモデル化するかが課題となっている。

## 3. メソスケールにおける沸騰現象解析

メソスケールの CFD には、Phase-field 法を用いることが多い。Phase-field 法は Helmholtz の自由エネルギー密度に基づいて気液界面を記述する手法であり、沸騰解析においても本質的に優れた特性を有する。しかし、現実の解析においては、Phase-field 法が要請する気液界面厚さのスケール（nm オーダー）の格子を用いることは困難であるため、その優れた特性を生かし切れているとは言い難い。また、Convective Cahn-Hilliard 方程式の対流速度スケールについても、問題点が存在すると考えられる。

## 4. ミクロスケールにおける沸騰現象解析

ミクロスケール解析に関しては、分子動力学を用いた沸騰現象解析が行われている。Newton の運動方程式を用いるのみで人為的なモデル化を必要としないため、解析結果の信頼性は高いと考えられるが、解析負荷（取り扱う分子数）の観点から、解析領域のサイズは最大でも  $1\mu\text{m}$  程度であり、限界熱流束の予測などに用いることは難しい。

## 5. おわりに

ミクロスケールからマクロスケールまで、様々な沸騰解析手法が存在するが、現状ではどの手法も大きな課題を抱えており、数値解析に基づく限界熱流束の予測は未だ難しい状況である。今後、予測精度向上を目指して更なるモデル開発・改良が実施されることが望まれる。

## 謝辞

本報告の実施にあたり、京都大学名誉教授の功刀資彰先生に多くの資料を御提供頂きました。謹んで御礼申し上げます。

---

\*Kei Ito<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kyoto University