

気液二相流解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/MP

杉中 隆史* 大島 小百合* 中森 一郎* 三橋 利玄** 湊 明彦**

Advance/FrontFlow/MP

Takafumi Suginaka, Sayuri Oshima, Ichiro Nakamori, Toshiharu Mitsuhashi and Akihiko Minato

Advance/FrontFlow/MP はアドバンスソフト株式会社が開発した気液二相流解析ソフトウェアである。われわれは Advance/FrontFlow/MP を用いた解析を数多く手がけてきた。Advance/FrontFlow/MP の解説は文献[1]で行っているのので、本項では、Advance/FrontFlow/MP の解析事例を紹介する。

Key word: 3次元、二流体モデル、沸騰、凝縮、壁面熱伝達、気泡合体、固体粒子の凝集、自由表面

1. はじめに

Advance/FrontFlow/MP は、二流体モデルを使用して気液二相流現象を3次元的に解析するソフトウェアである。特長は次の項目である。

- ① 沸騰や凝縮を伴う気液二相流解析
- ② 精緻な構成方程式
- ③ 気泡合体を考慮した解析
- ④ 並列計算による大規模解析
- ⑤ 非構造格子による形状表現
- ⑥ 固体粒子の凝集解析

Advance/FrontFlow/MP に組み込まれている解析機能、計算の流れ、基礎方程式、気泡合体モデル、流動様式、構成方程式、固体粒子の凝集モデルについては、文献[1]を参照されたい。ここでは、Advance/FrontFlow/MP による解析事例の幾つかを紹介する。

2. 解析項目

Advance/FrontFlow/MP を使用して解析した実績は次に示す項目である。

① 原子力分野

- ・ BWR 実寸大燃料集合体試験詳細解析
- ・ 新型炉燃料集合体詳細解析
- ・ 新型炉燃料集合体上部ノズル詳細解析
- ・ 新型炉気水分離器詳細解析
- ・ 気流ジェット噴流装置の気液二相流解析
- ・ 地震に対するプール水のスロッシング解析

② 自動車分野

- ・ 油圧機器の気泡除去挙動解析
- ・ 焼入れ解析
- ・ クーラー内の空気と冷媒の沸騰・凝縮解析
- ・ 熱交換器の沸騰・凝縮解析
- ・ セパレーター内の水・空気分離解析

③ 化学分野

- ・ 気泡塔内の気液二相流解析
- ・ 閉空間内の沸騰・凝縮解析

④ 製造プロセス分野

- ・ 移動固体の沸騰冷却解析
- ・ 蒸発と凝縮による配管熱疲労の評価解析

次の章で原子力分野の解析事例を紹介する。

3. 原子炉燃料集合体内沸騰解析

(1) 目的

沸騰を伴う気液二相流解析機能を検証する。

(2) 解析格子

*アドバンスソフト株式会社 技術第3部

3rd Technical Division, AdvanceSoft Corporation

**アドバンスソフト株式会社 第2事業部

Computational Science and Engineering Division II,
AdvanceSoft Corporation

- ・解析格子数：87,000

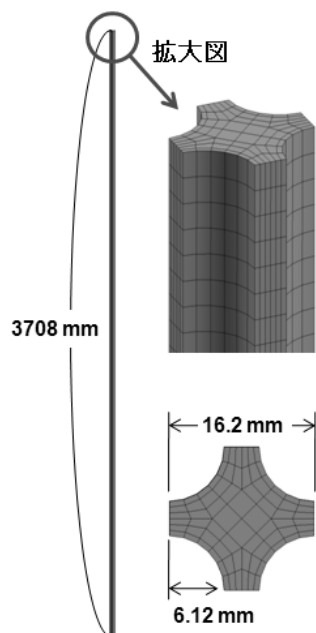


図1 解析格子

(3)解析条件

- ・流動様式：気泡流
- ・乱流モデル： $k-\epsilon$ モデル
- ・圧力：7.18 MPa
- ・物性値
 - 気相密度：37.59 kg/m³
 - 気相粘度：19.039×10⁻⁶ Pa・s
 - 液相密度：775.81 kg/m³
 - 液相粘度 90.589×10⁻⁶ Pa・s
- ・燃料棒壁面の熱流束：2.1388×10⁵ W/m²
- ・時間刻み：1.0×10⁻³ s
- ・計算ステップ数：4,000

(4)解析結果

図2に出口付近のボイド率と各相の体積速度分布を示す。実寸大試験での燃料集合体上部における平均ボイド率を再現できている。

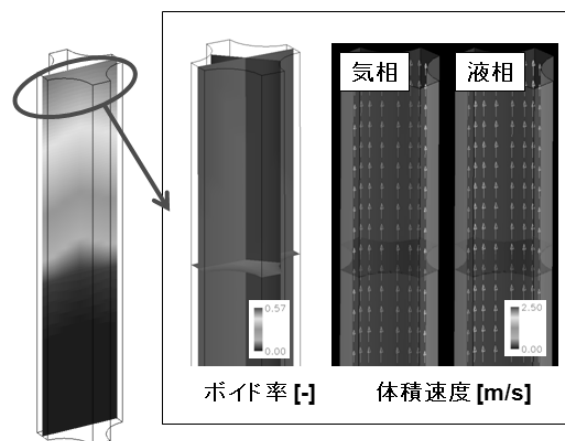


図2 出口付近のボイド率と各相の体積速度分布

4. 新型炉燃料集合体上部ノズル部気液二相流解^[2]

(1)目的

燃料集合体上部ノズル部において、複雑に変化する流路形状が気液二相流挙動に与える影響を評価する。

(2)解析格子

- ・解析格子数：170 万
- ・要素形状：6 面体格子、5 面体格子、4 面体格子を併用

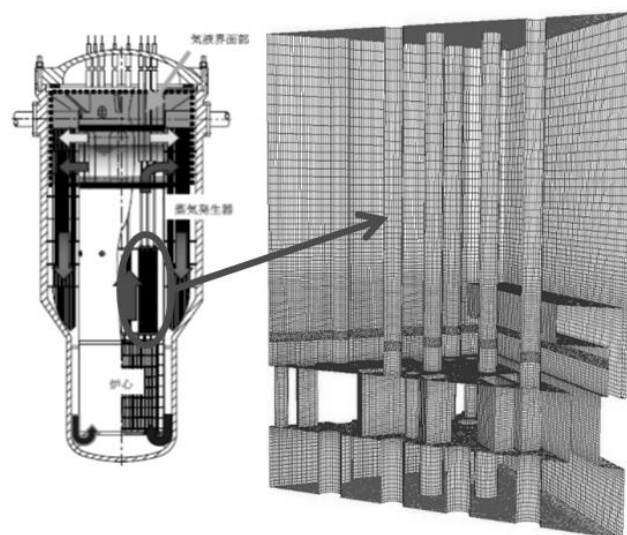


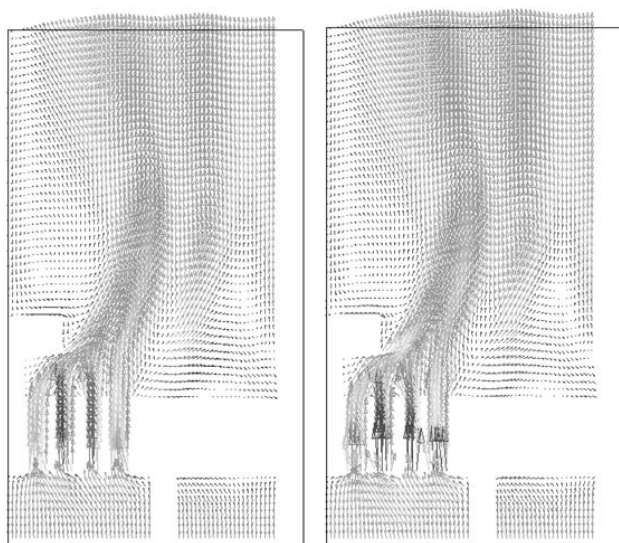
図3 解析格子

出典：革新的実用原子力技術開発費補助事業平成18年度成果報告書概要版「高温高压二相自然循環炉の熱流動システム評価手法の開発」

(3)解析結果

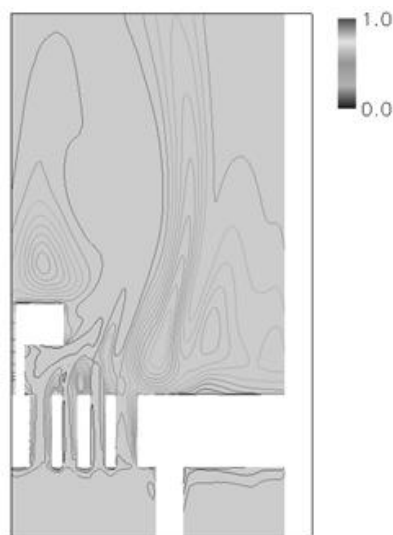
図4に液相速度分布、気相速度分布、ボイド率分布を示す。これらの結果から以下を予測することができる。

- ・速度勾配が下流に流れるに従い拡散する状況
- ・循環流をかせぐための噴流の効果
- ・並列流路孔からの噴流の影響で、速度勾配の大きな領域が形成される状況
- ・気泡が低速領域に集まる状況



(a)液相速度分布

(b)気相速度分布



(c)ボイド率分布

図4 解析結果

出典：革新的実用原子力技術開発費補助事業平成18年度成果報告書概要版「高温高压二相自然循環炉の熱流動システム評価手法の開発」

5. スロッシング解析

(1)目的

スロッシング解析の予測精度を検証する。

(2)解析条件

M. Nakano & T. Iwamoto の実験条件[3]を使用する。水平方向の加速度は実験結果（図5のプロットを直線で補間したものを入力する。

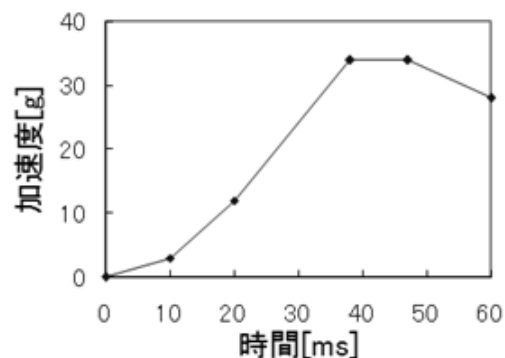


図5 水平方向の加速度

(3)解析結果

図6に界面挙動と速度分布を示す。M. Nakano & T. Iwamoto の実験結果[3]を再現できている。

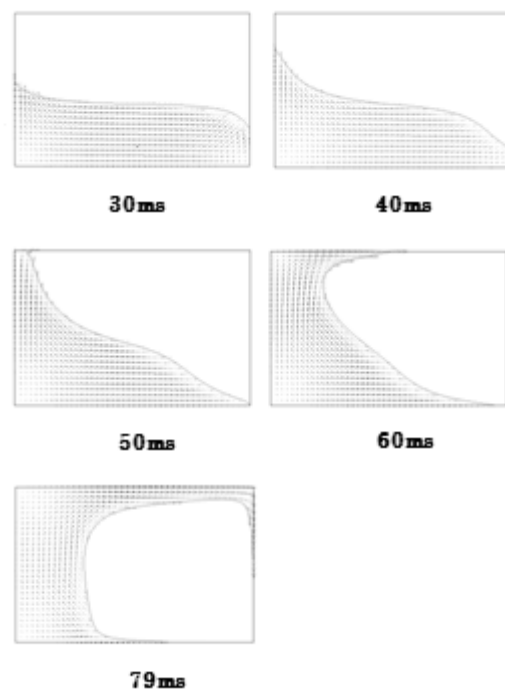


図6 界面挙動と速度分布

6. 気相と液相の熱的非平衡解析

(1)目的

蒸気とサブクール水が直接接触したときの凝縮解析の予測精度を検証する。

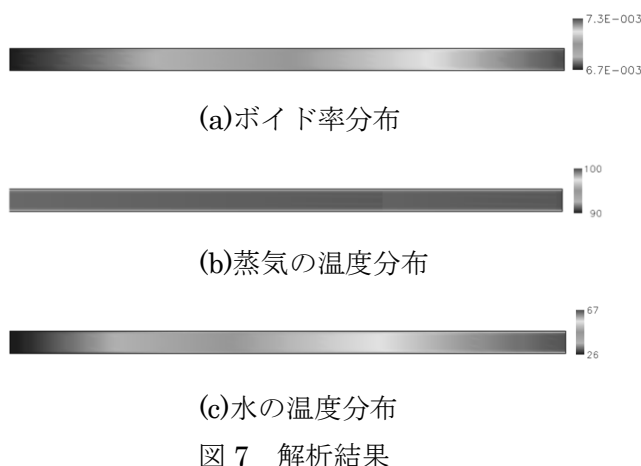
(2)解析条件

Lim らの凝縮実験条件[4]を使用する。

- ・水平矩形管：幅 0.3048m、高さ 0.0635m、長さ 1.6m
- ・入口条件：蒸気流量 0.1255kg/s、蒸気温度 100℃、水流量 1.437kg/s、水温度 26℃
- ・流動様式（構成方程式）：噴霧流

(3)解析結果

図 7 にボイド率分布、蒸気の温度分布、水の温度分布を示す。M. Nakano & T. Iwamoto の実験結果[4]を再現できている。



7. その他の解析事例

その他の解析事例については、文献[1]を参照されたい。

8. おわりに

二流体モデルで二相流を扱う解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/MP を使用した解析事例を紹介した。

沸騰や凝縮を伴う解析は、使用する構成方程式によって解析精度が大きく影響するため、当社ではできるだけ精度の良い構成方程式を取り入れるようにしている。

今後も解析ソフトウェアをブラッシュアップしてお客さまの業務に活用できるようにしていく所存である。

参考文献

- [1] 杉中 隆史, 三橋利玄, “3 次元気液二相流解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/MP”, アドバンスシミュレーション, Vol.7 (2011)
- [2] 革新的実用原子力技術開発費補助事業平成 18 年度成果報告書概要版
「高温高圧二相自然循環炉の熱流動システム評価手法の開発」
- [3] M. Nakano & T. Iwamoto: “Analysis of the Behavior of Liquid in Fuel Tank”, SAE paper No. 881782(1988)
- [4] 日本原子力学会, 気液二相流の数値解析, 朝倉書店(1993) 72