

jh220032

杉原 健太 (日本原子力研究開発機構システム計算科学センター)

# 原子力気液二相流体解析における界面追跡手法の高度化

JHPCN

## 研究計画全体の概要

原子力工学分野の多相流体解析は、構造物と気液界面の相互作用に起因する複雑な流動形式を捉えたマルチスケール現象の計算が必須となる。そのような大規模解析の実現に向けて日本原子力研究開発機構(JAEA)では、スパコンを活用した数値流体力学(CFD)解析手法JUPITER[参考文献1]の開発、および、その計算速度のボトルネックとなる圧力Poisson解法の高速度化[昨年度のJHPCN課題]を実施してきた。その研究成果としてCPUスパコンを用いた1mm格子解像度のバンドル体系の多相流体解析、更にGPUスパコンを用いた高速化により0.6mm格子解像度の解析を実現した。しかしながら、以上の解析においても、実験結果[Ren et al., Meas. Sci. Technol., 2018]のボイド率を定量的に再現できておらず、更なる高解像度化と気液界面モデルの高精度化が必要となっている。

上記課題に対して、今年度のJHPCN課題では、従来の界面の対流項からなる気液界面モデル (THINC/WLIC法) と比較して、界面方向への逆拡散によって数値拡散を抑えることが可能なフェーズ・フィールド法、およびその発展系であるマルチ・フェーズ・フィールド法を適用することで、気液界面捕獲手法を高精度化する。以上の開発により、原子力分野の熱流動解析や産業応用分野の冷却システム等、多数の気泡を含む工学問題における多相流体解析の高精度化が期待できる。

1. S. Yamashita, T. Ina, Y. Idomura, and H. Yoshida, A numerical simulation method for molten material behavior in nuclear reactors, Nuclear Eng Design, 322, pp. 301-312, 2017
2. N. Onodera, Y. Idomura, Y. Hasegawa, S. Yamashita, T. Shimokawabe, and T. Aoki, GPU Acceleration of Multigrid Preconditioned Conjugate Gradient Solver on Block-Structured Cartesian Grid, HPC Asia 2021

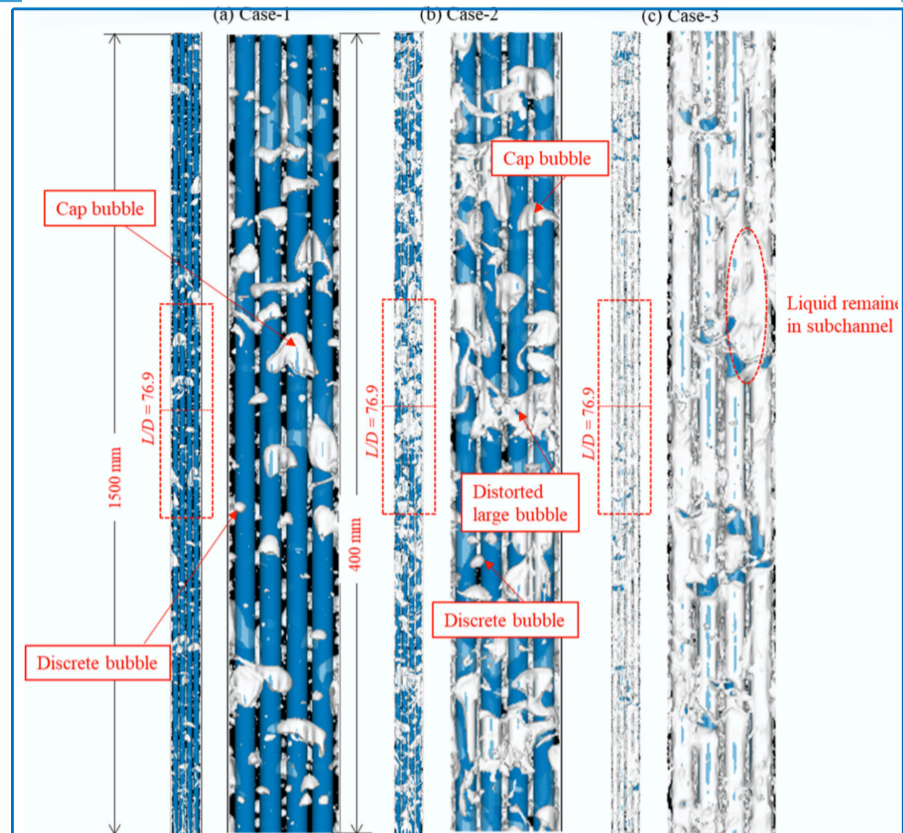


Fig.1 JUPITER code @ JAEA  
バンドル体系での様々な流動形式に対する二相流体解析

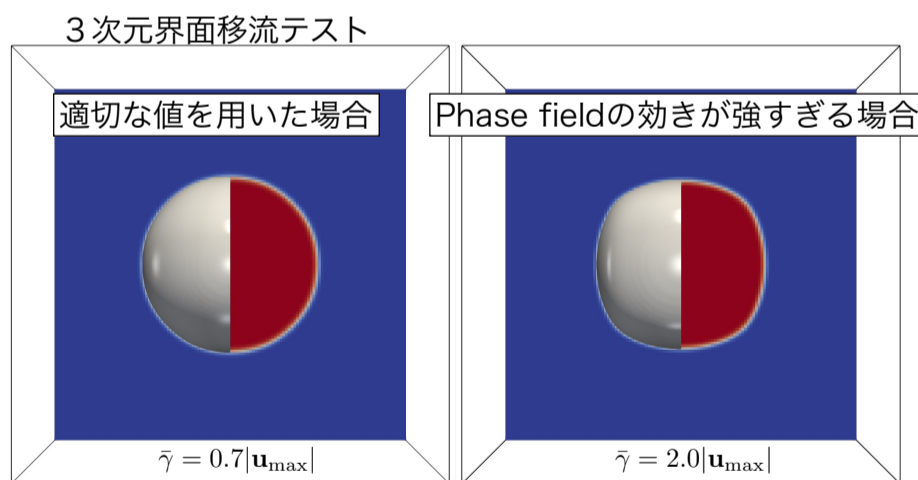
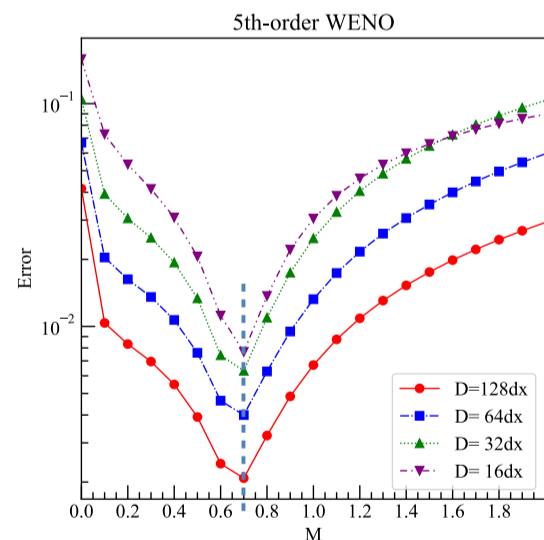
## High accurate interface capturing method for Nuclear CFD

### フェーズ・フィールド法による気液界面追跡の高精度化

- ✓ Optimization phase-field parameter for two-phase flow analysis
- ✓ Multi phase field method for bubbly flows

フェーズ・フィールド変数  $\bar{\gamma} = M|\mathbf{u}_{\max}|$  の最適化を実施。

3次元界面移流計算の誤差解析によって誤差の極小値をとるM (最適値) を導出。



- ・ 界面幅や、移流計算手法の数値粘性で最適値は異なる
- ・ 数値粘性の小さな移流計算手法と組み合わせる
- ・ マルチ・フェーズ・フィールド計算にも適用予定

Fig.2 Optimization of phase field parameter

### 5x5バンドル体系の気液二相流解析



- 2020年度の解析
- ・ JUPITER : 4x4バンドル体系
  - ・ 1mm解像度
- 2021年度の解析
- ・ JUPITER-AMR : 5x5バンドル体系
  - ・ 支持スペース有り
  - ・ 0.6mm解像度
- 2022年度の解析
- ・ マルチ・フェーズ・フィールド法の適用による界面モデルの高度化

## JHPCN 共同研究体制

### (1) JHPCN拠点

東京工業大学 TSUBAME3.0 : NVIDIA GPU



### (2) 共同研究者

- 代表者 杉原 健太 (JAEA) 研究課題の主導、多相流解析の実施
- 副代表者 青木 尊之 (東工大) フェーズ・フィールド法に関する助言
- 小野寺 直幸 (JAEA) 多相流解析の実施
- 共同研究者 井戸村 泰宏 (JAEA) 計算結果の考察
- 河村 拓馬 (JAEA) 計算結果の可視化
- 下川辺 隆史 (東大) GPU計算に関する最適化の助言
- 伊奈 拓也 (JAEA) GPUに対するPoisson解法の最適化
- 山下 晋 (JAEA) 計算結果と実験の比較・考察

✓ Multi-platform performance portability

✓ CFD applications in JAEA