

I. 論文

なし

II. 研究発表

1. **T. Nakamura**, Y. Ootoguro, K. Takizawa, and T.E. Tezduyar, "A variational multiscale formulation for the Navier–Stokes–Korteweg equations", in Proceedings of the 36th Symposium on Computational Fluid Dynamics, Online due to the COVID-19, (2022).

III. 2022年度の研究概要

本年度はキャビテーションの数値解析に向けたマルチスケール定式化を行い、単一スケールにおける数値解析を行った。加えて気泡発生の定式化に向けた研究を行った。それぞれについて以下に述べる。

マルチスケール定式化では等温 Navier–Stokes–Korteweg (NSK) 方程式を residual-based variational multiscale method に基づき定式化を行った。この方法では coarse scale および finescale とともに非常に多くの項があり、一度に数値解析を行って妥当性を検証することは難しい。したがって、単一スケールの数値解析を目的に Space–Time 定式化を行った。

数値解析では表面張力の効果を無視し、圧力は理想気体の状態方程式を用いた。計算領域は一辺が 1 mm の正方形とし、平らな界面が中央に存在する問題と 1 つの気泡が存在する問題を想定した初期条件に対してその時間発展を解析した。前者の条件では高圧力側から低圧側に界面が移動する結果が得られた。後者の条件では気泡が縮小する結果が得られたが、気泡の大きさに対して計算領域が小さすぎるため境界付近の速度場が正しくない。また、熱平衡状態における圧力と密度の関係式に van der Waals モデルを用いた場合は気液間の密度差であっても圧力差はほとんどない。一方で理想気体モデルは密度差に比例して圧力差も大きいため、実際より圧力勾配は大きくなっている。ここまでの成果を数値流体力学シンポジウムで発表した¹。

気泡の発生は非常に難しい問題である。実際の気泡発生は水中に気泡核という粒子等が存在しており、それをきっかけとして気泡が発生する。NSK 方程式はこのミクロな現象を記述することができない。そこで本研究では均質な液体から気泡が生じる均質核生成理論をもとに気泡発生の定式化を行う方針を立てた。均質核生成理論から求まる核生成率を用いてミクロな効果としてマルチスケール定式化に組み込むという考えである。この気泡発生に関して早稲田大学で開催された国際ワークショップで発表した。

IV. 2023年度の研究目標

気泡発生を含むマルチスケール定式化を目標に以下の項目を行う。

- 表面張力の効果を考慮し、van der Waals モデルを用いて単一スケールの解析を行う
- 本年度の内容から引き続き気泡発生の定式化を行う。また、確率過程を用いた気泡発生確率を視野に入れた研究を行う
- 計算格子で解像できない気泡の解析を行い、マルチスケール定式化の妥当性を検証する