

確率密度関数法を用いた気泡流挙動シミュレーション手法に関する研究

Numerical Study on Bubbly Flow Coupling with Probability Density Function

*福岡 佳奈¹, 高田 孝¹, 帆足 英二¹, 福田 武司¹, 山口 彰²

¹大阪大学, ²東京大学

計算セル内の気泡径分布を考慮した気泡流計算を可能とすることを目的とし、確率密度関数 (Probability Density Function : PDF) 法を用いた新たなシミュレーション手法の開発を行った。気泡流挙動解析に PDF の概念を取り入れることで、気泡径分布の変遷や平均直径および界面積濃度の空間分布などを評価できることが確認された。

キーワード : 確率密度関数, 気泡個数密度, 気液二相流

1. 緒言

気泡流をはじめとする気液二相流の応用範囲は化学プラントやボイラなど多岐にわたっており、工学的に極めて重要な現象である。原子炉プラントにおいては、その安定した稼働のために炉心内の気液二相流挙動を詳細に把握することが必要とされている。本研究では気相を統計的に扱い、気泡の大きさごとにその個数密度を表す関数を複数設定することで、気泡径分布を考慮した計算を可能とすることを目的として、確率密度関数 (Probability Density Function : PDF) 法を用いた気泡流挙動シミュレーション手法の開発を行った。

2. 数値解析手法の開発

気泡の個数密度を PDF とし、その輸送を流れ場の式と連成して解くことで、気泡流挙動の解析を行う。気泡を複数群に分け各群の個数密度を P_i [$1/m^3$] とすると、その輸送方程式は(1)式となる。

$$\frac{\partial P_i}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla P_i = \sum_{j < i} \alpha_{ji} P_j - \sum_{j > i} \alpha_{ij} P_i + \sum_{j > i} \beta_{ji} P_j - \sum_{j < i} \beta_{ij} P_i \quad (1)$$

ここで α_{ij}, β_{ij} はそれぞれ、 i 群の気泡が合体および分裂に伴って j 群へと移る際の個数密度の変化率 [$1/s$] である。また、 P_i 及び各群の直径 d_i [m] をもとに、(2)式より気相体積率 ϕ [-] が求められる。

$$\phi = \sum_i \frac{\pi}{6} d_i^3 P_i \quad (2)$$

流体側については、VOF 法と同様に(2)式から求めた気相体積率によって流体の密度や粘性係数などを評価し、単一の流体として計算する。

3. 検証解析

ナトリウム冷却高速炉の上部プレナムを模擬した 1/10 スケールの体系^[1]で、合体のみを考慮した Na-Ar 気泡流計算を実施し、2種類の入口境界から異なる PDF 分布を持った気泡の流入を評価した。流れ場は層流とし、入口流速は 1.0 [m/s] とした。解析結果として、平均直径の空間分布を図1に示す。また、各境界および位置 A, B での気泡径分布を図2に示す。横軸 1~5 は、5群に分けた各気泡径に対応する。PDF の概念を用いることで、気相体積率を考慮した流動場解析に加え、気泡径分布が変遷していく様子を表現できることが示された。

4. 結論

気泡流挙動解析に PDF の概念を取り入れることで、計算セル内の気泡径分布を考慮した解析が可能となった。また、気泡の個数密度を PDF として計算することで、平均直径や界面積濃度などの物理量を評価できることが示された。

参考文献

[1] 木村暢之他, JNC TN9400 2003-032, 2003

*Kana Fukuoka¹, Takashi Takata¹, Eiji Hoashi¹, Takeshi Fukuda¹ and Akira Yamaguchi²

¹Osaka Univ., ²The University of Tokyo

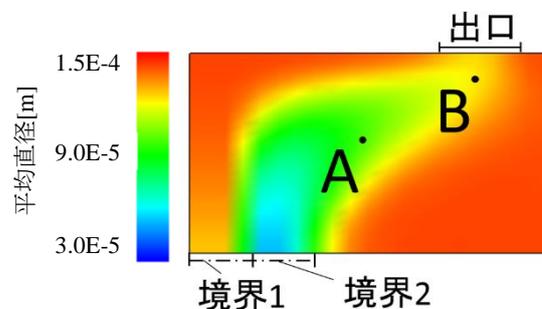


図1 平均直径の空間分布

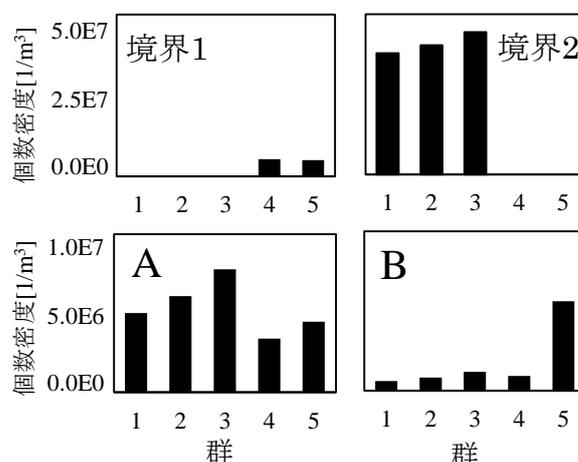


図2 各位置での気泡径分布