

## 気液二相流計算における適切な Phase-Field 変数の検討

A study of appropriate Phase-Field variables for gas-liquid two-phase flow simulations

\*杉原 健太<sup>1</sup>, 小野寺 直幸<sup>1</sup>, 井戸村 泰宏<sup>1</sup>, 山下 晋<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 日本原子力研究開発機構

多相多成分熱流動解析コード JUPITER[1]の界面追跡手法に Phase-Field 法[2]を適用し、従来手法の THINC/WLIC 法[3]を用いた結果で発生していた流体率剥がれ問題を解決した。液滴振動問題の理論解と比較することにより適切な Phase-Field 変数を調査して界面幅およびモビリティの値が概ね明らかになった。

**キーワード**：気液二相流体、界面追跡法、Phase-Field 法

**1. 緒言**： JUPITER コードでは界面追跡手法として THINC/WLIC 法を用いており、過酷事故解析における炉内熔融物の界面の移動を数値散逸が少なく高精度に計算することを可能にしている。しかし、気液二相流のような界面の合体分離を伴うような激しい流れでは流体率 (VOF 値) が界面から剥がれ小さな VOF 値が浮遊してしまう。この問題を解決するために Phase-Field 法を JUPITER に導入し、VOF 値の非物理的な剥がれを抑制することに成功した。本研究では、さらに液滴振動の理論解との比較により、界面幅を一定に保ちつつ表面張力計算を精度よく行う上で適切な Phase-Field 変数を調査した。

**2. 液滴振動の周波数および減衰率解析**： JUPITER に保存型 Phase-Field 法 (保存型 Allen-Cahn 方程式)

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{u}\phi) = \bar{\gamma} \left( \varepsilon \nabla \cdot (\nabla \phi) - \nabla \cdot \left( \phi(1-\phi) \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) \right), \quad \bar{\gamma} = M\sigma, \quad \varepsilon = \frac{\delta}{2b}, \quad b = 2 \tanh^{-1}(1-2\lambda)$$

を適用し、適切な界面幅  $\delta$  およびモビリティ  $M$  を調査するために液滴振動解析を実施した。計算領域  $4\text{mm} \times 4\text{mm} \times 4\text{mm}$  の中央に配置した長径約  $2\text{mm}$  の楕円体の水の振動履歴を理論解と比較した。計算格子は液滴直径に対して 64 格子割り当て、時刻 200msec (約 24 周期) まで計算した。格子幅  $\Delta x$  に対する界面幅  $\delta$  の依存性を調べた結果 (Fig.1(A))、 $\delta / \Delta x = 3, 4, 5$  のケースでは理論解に概ね一致した減衰振動の結果が得られ、界面幅を広げすぎると数値粘性により減衰しやすくなることが分かった。上式右辺の強さを調整する  $M$  依存性を調べた結果 (Fig.1(B))、3~5 程度が適当であり大きすぎると減衰しにくくなることが明らかになった。

**3. 結論**： JUPITER コードに新たに導入した Phase-Field 法の適切なパラメータを調査した。気液界面に働く表面張力を正しく計算するためには 3 格子以上の界面幅を用いる必要があり、界面幅を一定に保つためには 3~5 程度のモビリティを用いる必要があることが明らかになった。従来発生していた VOF 値の剥がれを解決したため、気液各領域の体積評価が重要となる気泡流れの解析精度向上が期待できる。

Interface width $\delta/\Delta x$	Frequency $\omega[\text{rad/s}]$	Damping rate $\lambda[\text{s}^{-1}]$	Mobility M	Frequency $\omega[\text{rad/s}]$	Damping rate $\lambda[\text{s}^{-1}]$
2.0	-	-	1	752.13	-
3.0	746.41	4.576	3	747.25	5.137
4.0	750.98	5.278	5	746.41	4.576
5.0	749.63	5.497	10	746.08	4.002
(A) Theoretical solution	764.37	5.021	(B) Theoretical solution	764.37	5.021

Figure 1: Oscillating frequency and damping rate. Dependency of : (A) Interface width, (B) Mobility.

**謝辞**：本研究の一部は、科学研究費補助金・基盤研究 (C) 19K11992、21K11911 から支援を頂いた。

**参考文献** [1] S.Yamashita, T.Ina, Y.Idomura and H.Yoshida. *Nuc. Eng. Des.*, Vol.322, pp.301-312, 2017.

[2] P.H.Chiu and Y.T.Lin. *J. Comp. Phys.*, Vol.230, No.1, pp. 185-204, 2011.

[3] K.Yokoi. *J. Comp. Phys.*, Vol. 226, No.2, pp. 1985-2002, 2007.

\*Kenta Sugihara<sup>1</sup>, Naoyuki Onodera<sup>1</sup>, Yasuhiro Idomura<sup>1</sup> and Susumu Yamashita<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Japan Atomic Energy Agency.