

## マルチフェーズフィールド法を用いた気泡流動解析へのPID制御の適用

Application of PID control to bubble flow analysis using multi-phase field method

\*杉原 健太<sup>1</sup>, シトンプル ヨス<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発機構

周期境界条件を用いた円管内の気泡流計算において、流れは領域全体に働く外力によって駆動される。境界における流速を固定することができないため、指定流量の計算を実施するためには外力を調節する必要がある。そこで制御理論で広く利用されているPID制御を用いることにより指定流量の解析を可能とした。

**キーワード**：気液二相流、周期境界、Multi-Phase Field 法、PID 制御

### 1. 緒言

気泡同士の合体を抑制することが可能な界面捕獲手法であるマルチフェーズフィールド法(以降MPF法)の基礎検証問題として円管内気泡流解析を実施し、実験結果との比較を進めている。実験における直径40mm、長さ3.17mの領域をそのまま解析領域とするのは非効率的であるため、本計算では周期境界条件を用いて定常解を求める。周期境界条件を適用すると計算領域の入口と出口が繋がりに、外部からの流入出がないため、時間がたつにつれて全体の流量が変動してしまい実験条件を再現できない。そこで、制御理論で広く用いられているPID制御<sup>[1]</sup>を利用した圧力勾配の動的制御により、指定流量の流れを再現した。

### 2. 円管内気泡流解析に対するPID制御の適用

図1のように流路方向を周期境界条件とし、重力を鉛直下方向に定義した。参考文献[2]と同様に、基礎方程式のNavier-Stokes方程式の外力項を $\mathbf{F}_b = -\beta \mathbf{z} + (\rho - \rho_{ave}) \mathbf{g}$ のように系全体に一樣に働く力 $\beta$ (平均圧力勾配と重力加速度の合算)と浮力項で定義した。Colin等による実験論文[3]の下降気泡流条件”D3”と同様に、ボイド率7.5%、気泡径4.2mm、体積流束0.823m/sを設定した。図1の計算領域に対して直交格子(256x256x384)を用いた。計算の各ステップで計測した体積流束 $j$ と目標値 $j_{target}$ との差を制御偏差 $e = j - j_{target}$ 、操作量を $\beta$ と定義して $e$ が減少するようにフィードバック制御を行なった。図2に示すように体積流束はほぼ一定値を保ち、約0.5sで定常状態となった。また、本解析のボイド率と平均流速を実験結果[3]と比較した結果、良い一致が確認された。

### 3. 結論

本稿ではMPF法を用いた気泡流解析の流量設定に対してPID制御を適用した。円管内の下降気泡流問題に適用し、Colin(2012)らの実験結果と比較した結果、妥当なボイド率分布が得られた。

**謝辞**：本研究の一部はJSPS科研費(24K14973)および学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点(jh240071)より支援を頂いた。計算の一部は日本原子力研究開発機構の大型計算機「HPE SG18600」を使用した。記して謝意を示す。

**参考文献** [1] 須田信英, 環境システム計測制御学会誌, 第8巻4号, 2004.

[2] J.Lu and G.Tryggvason, *J.Fluid Mech.*, Vol.732, pp.166-189, 2013.

[3] C.Colin et al., *J.Fluid Mech.*, Vol.711, pp.469-515, 2012.

\*Kenta Sugihara<sup>1</sup>, Yos Sitompul<sup>1</sup>, Yasuhiro Idomura<sup>1</sup> and Susumu Yamashita<sup>1</sup>

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

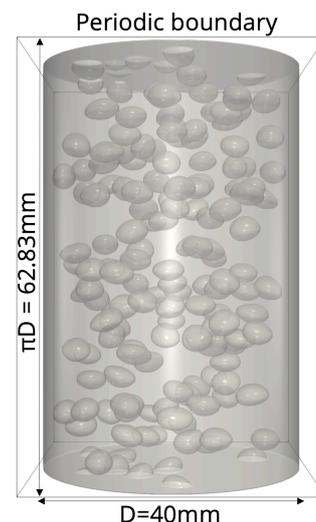


図1 気泡流解析領域

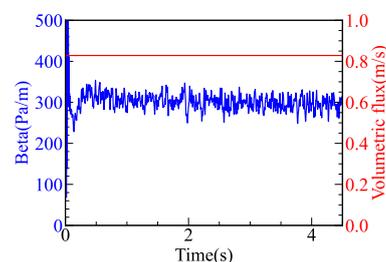


図2  $\beta$ と体積流束の時間変化

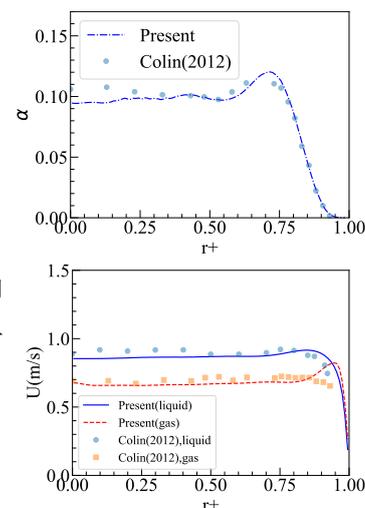


図3 半径方向のボイド率(上)と平均流速分布(下)