

核沸騰における気泡離脱挙動の数値解析

Numerical simulation of bubble departure behavior during nucleate boiling

○大西順也, 豊田中央研究所, 〒480-1192 愛知県愛知郡長久手町, E-mail: onishi@mosk.tytlabs.co.jp

稲垣昌英, 豊田中央研究所, 〒480-1192 愛知県愛知郡長久手町
堀之内成明, 豊田中央研究所, 〒480-1192 愛知県愛知郡長久手町

Junya Onishi, Toyota Central R&D Labs., inc., Nagakute, Aichi, 480-1192, Japan

Masahide Inagaki, Toyota Central R&D Labs., inc., Nagakute, Aichi, 480-1192, Japan

Nariaki Horinouchi, Toyota Central R&D Labs., inc., Nagakute, Aichi, 480-1192, Japan

We present numerical results on the bubble dynamics growing on a heated surface. The bubble departure diameter and the bubble departure time are calculated under various wall superheat conditions. The effects of contact angle are also investigated. The results show that the bubble departure diameter at low wall superheat is well predicted by Fritz theory, and that the fluid inertia becomes relevant under higher wall superheat conditions.

1. はじめに

核沸騰時の伝熱機構の解明や、伝熱量の定量的な予測のためには、加熱面に付着した気泡の成長・離脱過程に関する知見が必須であり、その獲得に向けて信頼性の高い数値解析手法の構築が期待されている。本研究では、気泡成長過程に対する壁面過熱度や接触角の影響に関する数値解析を実施し、既存の理論や実験結果と比較することで、得られた結果の妥当性について検討する。

2. 解析方法

本研究では、水-水蒸気系の飽和プール核沸騰における気泡成長過程を解析する。計算領域や境界条件の設定は、先行研究⁽¹⁾と同様のものを用いた。ただし、本研究において、接触角の動的性質は考慮せず、常に一定であるとした。また、支配方程式の導出においては、計算精度の向上が期待できる、sharp 界面モデルを採用した。これに伴い、界面における境界条件の処理には Ghost fluid 法、界面の捕獲・輸送には Level-set 法を用いた。

3. 解析結果

Fig. 1 には、本計算によって得られた気泡成長の様子を例示する。なお、壁面の過熱度は 10[K]、接触角は $\pi/4$ [rad] である。成長の初期段階では気泡はほぼ球形を保つが、気泡が大きくなるにしたがい浮力によって鉛直方向に引き伸ばされ、離脱する直前には接触線付近が鋭利な形状を示すことが分かる。

Fig. 2 は、離脱気泡径を過熱度に対してプロットした結果である。過熱度の増加にしたがい、離脱気泡径が大きくなることが分かる。また、今回得られたデータから、過熱度が 0 における離脱気泡径を外挿すると、Fritz 理論による予測値と一致することが分かる。なお、Fritz 理論では、気泡の離脱条件の導出において、気泡に作用する浮力と表面張力の釣り合いのみを考慮する。したがって、過熱度が大きくなると Fritz 理論からずれが生じる理由は、気泡に作用する力の釣り合いにおいて、他の力の影響が無視できなくなるためであると考えられる。本研究では、気泡が離脱するまでに要した時間を測定することで、気泡の成長速度が、過熱度の増加とともに、著しく速くなることを確認している。このことから、過熱度が大きくなると、気泡が成長する際に周りの液相を押すことによる反力、つまり、慣性力が重要になることが示唆される。

4. おわりに

加熱面に付着した気泡の成長過程を数値解析し、過熱度が 0 の極限における離脱気泡径が Fritz 理論による予測値と一致す

ることを確認した。このことは、本研究で用いた数値解析手法が、少なくとも浮力と表面張力の釣り合いに関しては、十分に高い精度を有することを示している。また、過熱度が大きくなると、慣性力の影響が原因で、離脱気泡径が大きくなることを確認した。この傾向は、少なくとも定性的には実験事実と一致する。しかしながら、その定量的な妥当性については、現時点では確認できていない。今後は、実験結果などと比較することで、検証する必要がある。

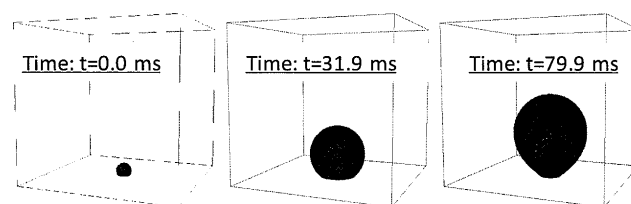


Fig. 1 Snapshots of bubble growth.

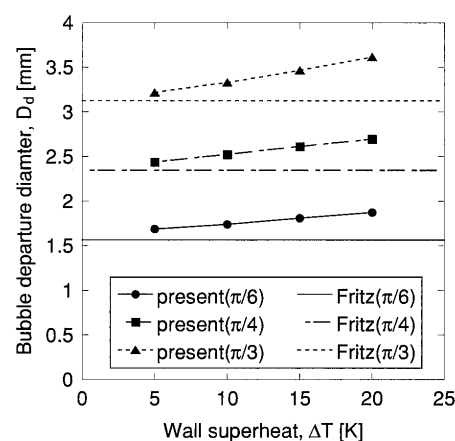


Fig. 2 Bubble departure diameter plotted against wall superheat.

参考文献

- (1) A. Mukherjee et al., Numerical study of single bubbles with dynamic contact angle during nucleate pool boiling, *Int. J. Heat & Mass Trans.* **50** (2007), pp.127-138.