強制対流サブクール沸騰中のボイド率発展メカニズム

Mechanisms of Void Fraction Development in Subcooled Flow Boiling

*大川 富雄　大堀 浩輝　李 洪吉　遠藤 祐哉
電気通信大学

強制対流サブクール沸騰のボイド率発展機構を可視化実験により調べた。正味の蒸気生成（OSV）を生じる上で、気泡合体による凝縮の緩和が重要な役割を果たしていることを示した。

キーワード：強制対流サブクール沸騰、正味の蒸気生成（OSV）、気泡合体、凝縮緩和

1. 緒言

強制対流サブクール沸騰では、核沸騰開始点の直下流におけるボイド率は無視できる程度で、液サブクール度ΔT_{sub}が十分に低下すると、ボイド率の急速な増加を開始する。この現象を OSV と言う。OSV を生じるメカニズムとして、例えば Saha 等は、$Pe = GDc_{pl}/k_l < 70000$ の低 Peclet 数域ではサブクール度の十分な低下、$Pe > 70000$ の高 Peclet 数域では発泡核からの気泡離脱としているが、実験的検証は為されていない[1]。このため、原子炉安全解析における OSV 点の評価は、未だに経験的相関式を用いて行われている状況である。

2. 実験結果

Kaiho 等と同様の装置[2]を用いて、強制対流サブクール沸騰のガンマ線密度計によるボイド率計測と高速度カメラによる可視化を行い、OSV の上流では核沸騰が生じているにもかかわらずボイド率が増加しない原因と、OSV の下流でボイド率が増加する原因を実験的に調べた。実験は、質量流束 G と矩形流路の高さ H をパラメーターとして、$Pe = 21800, 43600, 73400$ の 3 条件で行った。作動流体は大気圧の水である。

図 1 より、いずれの Pe 条件でも、高サブクール度域のボイド率は小さく、サブクール度が十分に低下するとボイド率の増加を開始することがわかる。また、Pe の増加とともに、OSV を生じるときのサブクール度は低下している。図 2 に、$Pe = 73400$ で、OSV 前（$\Delta T_{sub} = 12$K）、OSV 近傍（$\Delta T_{sub} = 7$K）、OSV 後（$\Delta T_{sub} = 5$K）における気泡挙動の観察結果を示す。OSV 前はほぼ小気泡のみだが、OSV 後はΔT_{sub} の低下とともに多数の大気泡が形成されており、これが OSV 以降でボイド率の実質的な増加を生じる原因と考えられる。

3. 考察

すべての実験条件で、OSV 前は、発泡核で生成された気泡は、速やかに発泡核及び伝熱面を離脱してバルク液中に移動し、凝縮によって消滅した。すなわち、OSV の上流でボイド率が増加しない原因は、気泡の生存時間がきわめて短いためといえる。また、$Pe = 73400$ の高 Peclet 数条件でも、OSV 前から気泡の伝熱面離脱が観察されたことから、本実験条件における OSV 発生メカニズムは Saha 等と完全には合致しない。次に OSV 後は、発泡核における成長中の気泡が、近くの発泡核で生成された気泡と合体することで、短時間での消滅を免れる場合があった。この後、合体泡の一部は、伝熱面近くを上昇するとともに、他気泡との合体を繰り返し、図 2(b), (c)に見られる大気泡に成長した。すなわち、発泡核における成長中に生じる気泡合体と、これに引き続く凝縮の緩和が、本実験条件で OSV 生じる直接的な原因と考えられる。

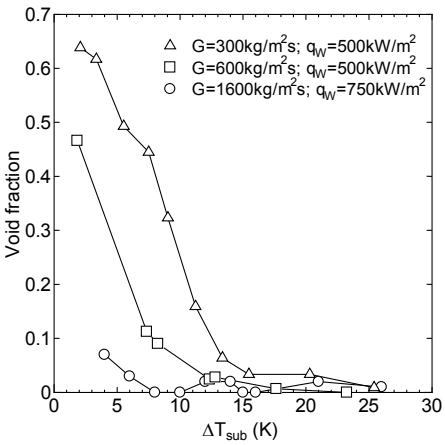
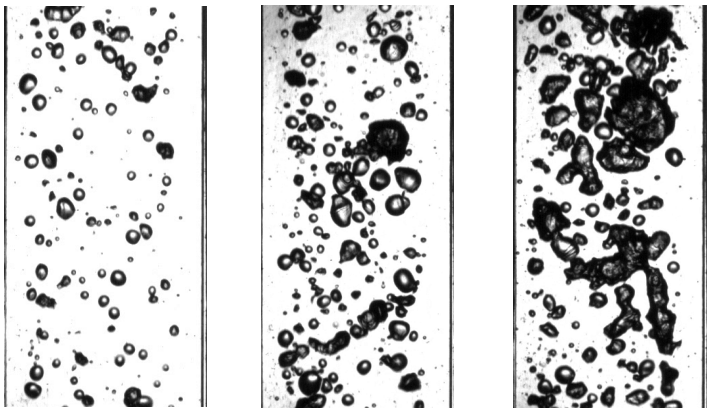


図 1 ボイド率計測結果



(a) $\Delta T_{sub} = 12$K　(b) $\Delta T_{sub} = 7$K　(c) $\Delta T_{sub} = 5$K

図 2 気泡挙動の観察結果（$Pe = 73400$）

謝辞：本報告は原子力規制庁からの委託「低圧時サブクール沸騰挙動解明試験」にて実施した成果です。

参考文献：[1] P. Saha, et al., 1974. *5th Int. Heat Transf. Conf.*, 175. [2] K. Kaiho, et al., 2017. *Int. J. Heat Mass Transf.* 108, 2365.

*Tomio Okawa, Koki Ohori, Hongji Li, Yuya Endo
The University of Electro-Communications