マイクロ波加熱時における不均質核生成と突沸現象

Heterogeneous nucleation and flashing in microwave heating

*小林昌平[1]，阿部豊[1]，金子暁子[1]，藤原広太[1]，弗田昭博[1]
瀬川智臣[2]，川口浩一[2]，石井克典[2]
[1]筑波大学，[2]日本原子力研究開発機構

突沸現象のメカニズムの解明を目的とし，過熱液相中における気泡生成に着目した．不均質核生成における気泡核生成頻度について着目し従来の結果との比較を行い，溶液内で生じる気泡について考察を行った．

キーワード：マイクロ波加熱，不均質核生成，突沸，気泡核生成頻度

1.　緒言

核燃料サイクルにおいて，マイクロ波加熱脱硝法が開発されている．先行研究において，再処理溶液の激しい突沸及び吹き零れの発生が確認されている．本研究では突沸現象のメカニズムの解明を目的とし，過熱液相中における気泡生成に着目した．不均質核生成とした時の気泡核生成頻度に着目し従来の結果[1]との比較を行い，溶液内で生じる気泡について考察を行った．以上の結果を用いて突沸現象のメカニズムについて検討した．

2.　実験

マイクロ波加熱装置は，オーブン上部からマイクロ波を照射する構造である．マイクロ波周波数は 2.45 GHz，試験流体には蒸留水を用いた．

3.　結果と考察

図 1 に単一気泡の可視化結果を示す．単一気泡下部において新たな気泡が生じている様子が確認でき，この気液界面で生じる気泡は不均質核生成に起因すると考えられる．そこで図 2 のように接触角をとり，西尾ら[2]の不均質核生成頻度 J_{HE} を用いて気泡核生成頻度の算出を行った．

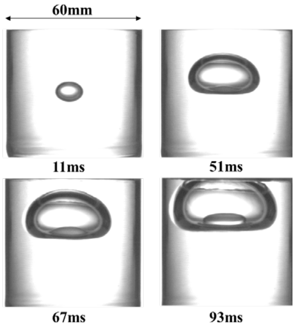

図 1 単一気泡の可視化結果

$$J_{HE} = N^{2/3}\psi_c\left(\frac{2\sigma}{\pi m B\psi_d}\right)^{\frac{1}{2}} exp\left\{-\frac{16\pi\sigma^3\psi_d}{3kT(P_v-P_l)^2}\right\} \quad (1)$$

$$\psi_c = \psi_a[\vartheta_{mp}] \quad (2)$$

$$\psi_d = \psi_b[\vartheta_{mp}] + \left(\frac{\gamma_{lv,\ sp}}{\sigma}\right)^3 \psi_b[\vartheta_{sp}] \quad (3)$$

$$\psi_a[\vartheta] = (1+cos\vartheta)/2 \quad (4)$$

$$\psi_b[\vartheta] = (2+3cos\vartheta - cos^3\vartheta)/4 \quad (5)$$

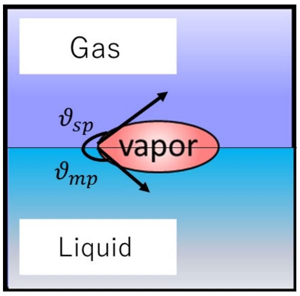

図 2 核生成時の接触角

ここで，Nは液相分子数密度[/m³]，mは液相分子 1 個の質量[kg]，kはボルツマン定数[J/K]，N_Aはアボガドロ数[1/mol]，Mは分子量[g/mol]，$\gamma_{lv,sp}$ は界面張力，σ は表面張力[N/m]，P_v は気泡内圧力(各温度時の飽和蒸気圧)[Pa]，P_lは液相圧力(大気圧)[Pa]，Tは液相温度[K]，ρ_lは水密度[kg/m³]，ϑ_{mp}は液相側の接触角，ϑ_{sp}は気相側の接触角である．図 3 に各接触角における不均質核生成頻度と液温の関係を示す．液相側の接触角を 179° に固定し，気相側の接触角を 175~179° の範囲で変化させた．計算結果と可視化結果により，大きい接触角で気泡が生成していることが明らかになった．また，気液界面において気泡が多数発生していることが示唆され，過熱液相中で不均質核生成により生成した多数の気泡が突沸の発生に影響を及ぼしていると考えられる．

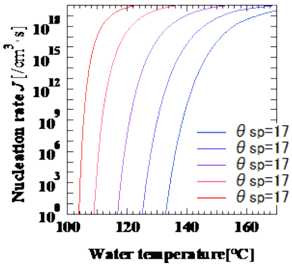

図 3 気泡核生成頻度

参考文献

[1] S. Fujita, et al., "Mechanism of flashing phenomena by microwave heating and influence of high dielectric constant solution", NTHAS11 paper Number N11P0149

[2] S. Nishio, "A Review of Rlementary Processes of Evaporation and Boiling Phenomena in Uniform Temperature Field", Thermal Science & Engineering Vol.8, No.4, pp.1-11 (2000)

*Shohei Kobayashi[1], Yutaka Abe[1], Akiko Kaneko[1], Kota Fujiwara[1], Akihiro Futsuta[1]
Tomoomi Segawa[2], Koichi Kawaguchi[2], Katsunori Ishii[2]
[1]University of Tsukuba, [2]Japan Atomic Energy Agency