塩析出を伴う海水流動沸騰熱伝達：析出物の役割

Sea Water Flow Boiling Heat Transfer Involving Sea Salt Deposition: Role of Deposited Sea Salt

○正 小泉 安郎 (JAEA) 上澤 伸一郎 (JAEA) 小野 綾子 (JAEA)
柴田 光彦 (JAEA) 吉田 啓之 (JAEA)

Yasuo Koizumi, Shinichiro Uesawa, Ayako Ono, Mitsuhiko Shibata and Hiroyuki Yoshida

JAEA, Tokai-mura, Ibaraki, Japan

Key Words: Flow Boiling, Sea Water, Sea Salt, Deposition, Heat Transfer, Critical Heat Flux

1. はじめに これまでに、ナノ粒子を水に懸濁させたナノ流体、また、海水を対象とし、伝熱面に析出物を伴う場合のプール沸騰熱伝達、流動沸騰熱伝達を調べてきた。^{1,2} ナノ流体及び低濃度海水では、沸騰熱伝達、並びに限界熱流束は純水の場合と同様の傾向を示し、流体物性値の差を考慮すれば従来相関式で表現することができた。しかしながら、海水の場合、濃度が上がると硫酸カルシウムの析出が低熱流束で生じ、析出が開始すると定熱流束であっても析出層の厚さが経時的に増大し、それに伴い伝熱面温度は緩やかな上昇を開始継続し、遂には伝熱面は溶断する伝熱面温度逸走が起きることを明らかにしてきた。本報では、その後得られた海水流動沸騰熱伝達の結果について報告する。

2. 実験 テスト流路は 10 mm×1 mm、全長 316 mm の矩形である。カートリッジヒーターで加熱される銅製伝熱面は流路入り口から 221 mm の位置に設置され、10 mm×60 mm である。伝熱面温度は4カ所、15 mm 間隔で測定した。流体には、濃度を変えて人工海水を用いた。

3. 実験結果 海水流動沸騰での、硫酸カルシウムの析出は、海水濃度(塩化ナトリウム換算質量濃度)が高いほど低い熱流束で開始し、析出が始まると加熱量一定下壁面温度は経時的に上昇を開始する(Fig. 1)。この伝熱面温度逸走開始時熱流束と海水濃度の関係(Fig. 2)は、プール沸騰と流動沸騰で若干異なるが、図中直線でこの関係を近似して熱流束ゼロで析出開始点の海水濃度を推測すると、共に硫酸カルシウム飽和溶解度 11 wt%に近い事は興味深い。流動沸騰では伝熱面近傍での流体攪拌がプール沸騰より強いことが、プール沸騰と流動沸騰での析出開始濃度の違いを生み出していると推測される。濃度を飽和濃度近くにした実験で、析出開始後伝熱面温度の変動が見られた。これは、析出層表面温度は析出開始時の伝熱面温度にあるとして硫酸カルシウム熱伝導率と熱流束値から算出した析出層厚さと、レーザー変位計による析出層厚さ測定値(Fig. 3)から、析出層剥離の繰り返し発生によるものと考えられる。

ナノ粒子、また、塩析出を伴う場合と、清浄水で沸騰熱伝達、限界熱流束の基本的性状に大きな差は見られず、沸騰熱伝達、限界熱流束の決定的要因は伝熱面性状より、Rohsenow プール沸騰熱伝達相間、或いは Zuber 限界熱流束相間が示唆するように、流動側にあることが示唆される。

参考文献 1. S. Uesawa, Y. Koizumi, M. Shibata, H. Yoshida, Saturated Pool Nucleate Boiling on Heat Transfer Surface with Deposited Sea Salts, ASME J. of Nuclear Rad. Sci. Vol.3(4), 041002-1-041002-13 (2017). 2. 上澤、小野、小泉、柴田、吉田、沸騰伝熱面での海水塩析出に対する流動の影響、第56回日本伝熱シンポジウム、B135、(2019)。

Fig. 1 沸騰曲線、 $1.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

Fig. 2 塩析出開始熱流束

Fig. 3 析出層厚さ、 $1.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$