

補助事業番号 2023M-387

補助事業名 2023年度 ナノ粒子層と旋回流を併用する超高熱流束除熱技術の開発補助事業 補助事業

補助事業者名 電気通信大学大学院情報理工学研究科 教授 大川 富雄

1 研究の概要

強制対流サブクール沸騰は、各種の伝熱形態の中で、熱伝達率と限界熱流束の両方が特に高い伝熱様式であり、高発熱密度電子機器の冷却手段としてきわめて有望である。本研究では、ナノ粒子層と旋回流を用いることで、強制対流サブクール沸騰の熱伝達性能をさらに引き上げることが出来るか否かを実験的に検討した。この結果、いずれの方策によっても、限界熱流束の発生メカニズムである大気泡形成を顕著に抑制可能であることが示された。さらに、大気泡形成開始条件が伝熱面近傍の局所ボイド率より予測可能であること、また、大気泡を形成するためには、気泡径が臨界気泡径を超過して、気泡合体による気泡サイズの増加が凝縮効果を上回る必要があることを示した。これらの知見は、本研究で検討したナノ粒子層や旋回流による熱伝達性能の向上効果を評価するとともに、さらなる性能向上を図る上でも有効と考えられる。

2 研究の目的と背景

高発熱密度機器の冷却に使用される強制対流サブクール沸騰では、小気泡の合体により形成される大気泡と加熱壁の間に形成される薄液膜が消失すると、除熱限界を迎えて壁温が急上昇し、機器破損に至る。このため、超高熱流束除熱を達成するには、大気泡の形成をできる限り遅らせることが重要となる。大気泡形成を抑制する方策としては、加熱壁で形成される蒸気泡を加熱壁から早期に離脱させてサブクール状態にあるバルク液中で凝縮させる、加熱壁の近傍に低温のバルク液を送って気泡の成長を遅らせる、等が考えられる。本研究では、伝熱面上に毛細管力に優れたナノ粒子層を形成して液を加熱壁に呼び込み、この反作用として蒸気泡の離脱を促進する、流れ場に旋回成分を加えて加熱壁の近傍にバルク液を送り込むのと同時に遠心力により気泡の伝熱面離脱を促進する、の2種類の方策により、大気泡形成を遅らせることが出来るか否かを実験的に検討する。

3 研究内容 (<http://www.eel.mi.uec.ac.jp/research.html>)

(1) ナノ粒子層による除熱限界の向上

ナノ流体中で核沸騰を生じさせることで伝熱面上にナノ粒子層を形成した上で、強制対流サブクール沸騰実験を実施した。この結果、ナノ粒子層の毛細管力により液が引き込まれ、この反作用として気泡の伝熱面離脱が促進されるため、ナノ粒子層の形成によりボイド率を低く抑えらるとともに大気泡形成が有意に遅らせることが出来ることを示した。

(2) 旋回流による除熱限界の向上

試験流路の入口部にスワラーを設置することで流れに旋回成分を与え、これが強制対流サブ

クール沸騰中での大気泡形成条件に及ぼす影響を実験的に調べた。この結果、旋回流の形成により、低温液が伝熱面近くに供給されるとともに、遠心力により気泡の伝熱面離脱が促進されるため、大気泡の形成を抑制する効果を有することが分かった。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

ナノ粒子層の形成や旋回流を得るためのスワラーの設置は多くの場合技術的に困難ではなく、また、本研究の結果によれば、これらの方策により強制対流サブクール沸騰による高温物体の冷却性能を顕著に高めることができる。したがって、高発熱密度電子機器の冷却への応用が大いに期待できる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまで強制対流サブクール沸騰に関する基礎的検討を実施し、本体系におけるボイド率発展や限界熱流束状態への移行メカニズムを解明してきた。本研究は、これらの基礎的知見をベースに、高発熱密度先進機器の冷却手法の高度化に繋げるものとなった。このため、基礎的な研究成果の実用化をより具体的に考える上で、本研究課題はきわめて有意義であった。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- (1) Yue Wang, Thanh-Binh Nguyen, Yudai Tsutsui, Tomio Okawa, Experimental verification of the effect of nanomaterials on the OSV occurrence time, 13th Korea-Japan Nuclear Thermal Hydraulics and Safety Symposium (2024).
- (2) 筒井雄大, 王越, 大川富雄, 強制対流サブクール沸騰のOSV発生に対する旋回流の影響, 日本機械学会関東学生会第64回学生員卒業研究発表講演会, No. 113 (2025).
- (3) 筒井雄大, 王越, 大川富雄, 強制対流サブクール沸騰における旋回流によるOSVの遅延とボイド率低減効果の検討, 第29回動力・エネルギー技術シンポジウム, D225 (2025).
- (4) Yue Wang, Yudai Tsutsui, Tomio Okawa, Experimental verification of the effect of metal surface on OSV occurrence time, 35th International Symposium on Transport Phenomena (2025).

7 補助事業に係る成果物

- (1) 補助事業により作成したもの
無し
- (2) (1)以外で当事業において作成したもの
無し

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 電気通信大学情報理工学研究科

住 所: 〒182-8585

東京都調布市調布ヶ丘1-5-1

担 当 者: 教授 大川富雄 (オオカワ トミオ)

担当部署: 機械知能システム学専攻 (キカイチノウシステムガクセンコウ)

E-mail : okawa.tomio@uec.ac.jp

URL : <http://www.eel.mi.uec.ac.jp/>