

HFOを用いた オープンマイクロチャンネルによる 流動沸騰冷却

SATテクノロジー・ショーケース2026

■ はじめに

電子機器の高集積化に伴い発熱密度は年々増大しており、近年の高性能CPUでは、指先ほどの面積に数百ワット規模の熱が集中するケースもある。過度な温度上昇は機器の性能低下および損傷につながる可能性があり、高発熱密度条件に対応可能な冷却システムへの関心が高まっている。単相熱伝達と比較して高い冷却性能を有する流動沸騰冷却は、電子機器冷却の有効な手段として挙げられる。マイクロチャンネルにおける流動沸騰冷却は、単位体積当たりの伝熱面積が大きく、高い放熱能力を有することから、優れた冷却システムとして注目されている。一方、高発熱密度条件下では、拡大した沸騰気泡が流路を閉塞し、流れの不安定化とそれにもなう伝熱性能の低下を引き起こす。その結果、壁面温度が上昇し、故障率の増加につながる(図1)。流路上部に開放区間を有するオープンマイクロチャンネルによる流動沸騰冷却では、高熱流束条件下でも沸騰気泡が伝熱面から排出されることで、沸騰気泡による流路の閉塞が抑制され、流れの不安定性が低減するとともに、限界熱流束の向上が報告されている。水と比較して沸点の低い有機流体の利用は100℃以下での沸騰冷却を可能とするものの、従来報告されているオープンマイクロチャンネルに関する研究では、作動流体に水を用いた例が多い。

本研究では、主に冷凍空調分野で用いられるハイドロフルオロオレフィン(HFO)のR1234ze(E)に着目し、オープンマイクロチャンネルにおける流動沸騰熱伝達特性を実験的に明らかにする。

■ 活動内容

1. テストセクションおよび実験条件

アルミニウム製の伝熱面プレートには、高さ0.5 mm、幅0.48 mmおよび長さ20 mmの矩形マイクロフィンが15本加工されている。マイクロフィンの上部は高さ0.5 mmの空間を設けるように透明な可視化窓で密封される。流動様相は可視化窓を介してハイスピードカメラにより撮影される。冷媒は伝熱面の下部の加熱ブロックに挿入されたカートリッジヒータにより加熱されながら流動する。伝熱面プレートおよび加熱ブロックにはK型シース熱電対が挿入され、壁内温度の測定値から熱流束および伝熱面温度の算出を行う。

実験はR1234ze(E)を試験流体に用い、飽和温度40℃、テストセクション入口過冷却度5 Kおよび質量流量200–600 gmin⁻¹の条件において行った。

2. 流動様相の可視化および熱伝達の同時評価

流動様相と伝熱特性を同時評価することにより、熱伝達の時空間特性に及ぼす諸因子(流量、発熱密度、流動様相の変化)の影響を明らかにする。図2に、発熱密度を、伝熱面温度と冷媒飽和温度の差である壁面過熱度に対して示した沸騰曲線を示す。壁面過熱度の増加にともない発熱密度は指数関数的に増大したが、発熱密度70 Wcm⁻²以上の条件では壁面過熱度に対する発熱密度の傾きは減少し、100 Wcm⁻²付近では伝熱面温度の急激な上昇が確認された。これは、高発熱密度条件下において、大きく拡大した沸騰気泡が伝熱面を覆い、乾きを形成することで、伝熱面の冷却が阻害されたためと考えられる。

■ 謝辞

本研究は、JSPS科研費24K07899の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表する。

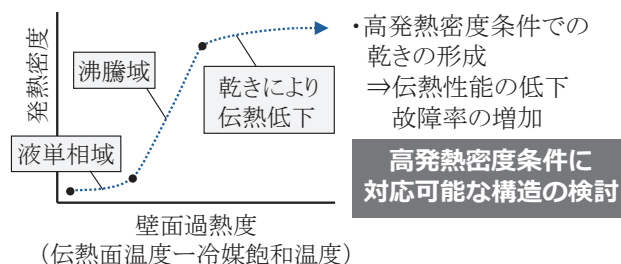


図1 発熱密度と壁面過熱度の影響

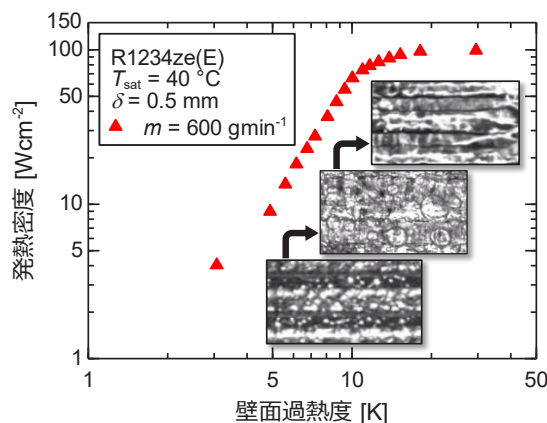


図2 流動様相と発熱密度

代表発表者 沼田 夏実(ぬまた なつみ)
所 属 東京海洋大学大学院
海洋科学技術研究科 応用環境システム専攻
エネルギー変換研究室
問合せ先 〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6
TEL: 03-5245-7437
d242008@edu.kaiyodai.ac.jp

■キーワード: (1) 流動沸騰
(2) 熱伝達
(3) 流動様相
(4) オープンマイクロチャンネル
(5) R1234ze(E)
■共同研究者: 勝田真太郎(東京海洋大学)
地下大輔(東京海洋大学)
井上順広(東京海洋大学)