

アルミニウム伝熱面を用いた高発熱素子のプール沸騰冷却

日大生産工(院) ○飯島 優樹 (株)日立製作所 藤本 貴行
日大生産工 松島 均 日大生産工 松本 幸太郎

1. 緒言

近年,電子機器の小型化,高密度化により発熱密度が上昇しており,従来の方法では冷却不足となっている.発熱により電子機器が故障する可能性を低減するため,相変化を用いた沸騰冷却が注目されている.この方法を用いた熱輸送機器としてはサーモサイフォンが代表的なものである.一般的に,サーモサイフォンの構造材には熱伝導率が高く放熱性の良い銅が用いられている.しかし,移動性を考えるとその重さが問題となる.そこで,銅に熱伝導率が近く密度の低いアルミニウムを構造材としたサーモサイフンの実用化が望まれる.本研究ではその基本特性としてアルミニウム伝熱面での沸騰熱伝達とその性能向上の可能性について検討した.使用する冷媒は,アルミニウムが腐食性を有し,純水の使用が不可能であるため,フッ素系冷媒のHFE7000とした.そして,この場合の伝熱面上に形成した微細構造(トンネル形状)の効果を,飽和圧力を変化させて測定した.

2. 実験装置及び実験方法

Fig. 1 に実験装置の概略図及びヒータブロックの拡大図を示す.実験装置は密封構造をしており,テストセクション下部にヒータブロックを有する伝熱面があり,上部にコンデンサーが設けられている.また,テストセクション側面には透明なポリカーボネートを使用しており,沸騰様相の観測が可能となっている.内部圧力は液相側に配置したカートリッジヒータ 2 本による加熱と気相側に配置したコンデンサーによる冷却によって管理している.また,装置内部の温度は気相,

液相にそれぞれ T 型熱電対を挿入することで測定した.本研究ではヒータブロック上部の 70mm 角,板厚 1.5mm のアルミニウム板の中心 30mm 角の部分伝熱面とした.ここで,周囲からの伝熱を防ぐため,伝熱面以外の部分を覆うように布ベークライトをかぶせている.アルミニウム板の下に伝熱面と同じ 30mm 角のアルミニウムブロックと 25mm 角のセラミックヒータを耐熱性を有する熱伝導性接着剤で接着し,その間に 5mm 及び 10mm の間隔で T 型熱電対を 3 本挿入した.

Fig. 2 に使用した伝熱面を示す.本研究では平滑面と多孔面の 2 種類を用いた.多孔面は立ち上げたフィンを押つぶしたトンネル形状を多数有する形状となっている.多孔面は溝幅を 200 μ m,フィン幅を 200 μ m,フィンピッチを 400 μ m,フィン高さ(押しつぶし後)を 500 μ m とした.なお,この多孔面の仕様は参考文献 1 で使用していたものと同等である.

作動流体には飽和温度約 34.7 $^{\circ}$ C (大気圧)のフロン系冷媒 HFE7000 を用いた.また,液面高さは伝熱面を基準として 35mm とし,圧力レンジは絶対圧力 0.10MPa (飽和温度 34.7 $^{\circ}$ C), 0.12MPa(40.0 $^{\circ}$ C), 0.14MPa(44.5 $^{\circ}$ C), 0.16MPa(48.6 $^{\circ}$ C)の 4 種類に規定した.なお,伝熱面設置方向は水平(重力に対して垂直)として実験を行った.

実験方法は,冷媒を封入した後,ヒータブロック下部のセラミックヒータを用いて 10W ずつ加熱し,その後カートリッジヒータとコンデンサーを用いて規定の圧力と飽和温度に調整した.飽和沸騰を確認した後 20 秒間保持し,その平均を

Pool Boiling Cooling of High Heat Generating Devices using Aluminum Surfaces

Yuki IJIMA, Takayuki FUJIMOTO, Hitoshi MATSUSHIMA and Kotaro MATSUMOTO

データとして用いた。以上を 10W から 100W の範囲で繰り返し行った。

本研究における結果は熱流束 q 、および過熱度 ΔT_{sat} による沸騰曲線で評価した。熱流束 q はアルミニウムブロックに挿入した 2 本の T 型熱電対の温度よりフーリエの法則を用いて算出した。また、過熱度 ΔT_{sat} は冷媒の飽和温度を T_{sat} 、熱流束より算出した伝熱面温度を T_w として次式により定義した。なお、伝熱面温度 T_w は最上部に設けた熱電対での測定値からフーリエの法則により補正して求めた。

$$\Delta T_{sat} = T_w - T_{sat} \quad (1)$$

また、熱伝達率 h は次式により算出した。

$$h = \frac{q}{\Delta T_{sat}} \quad (2)$$

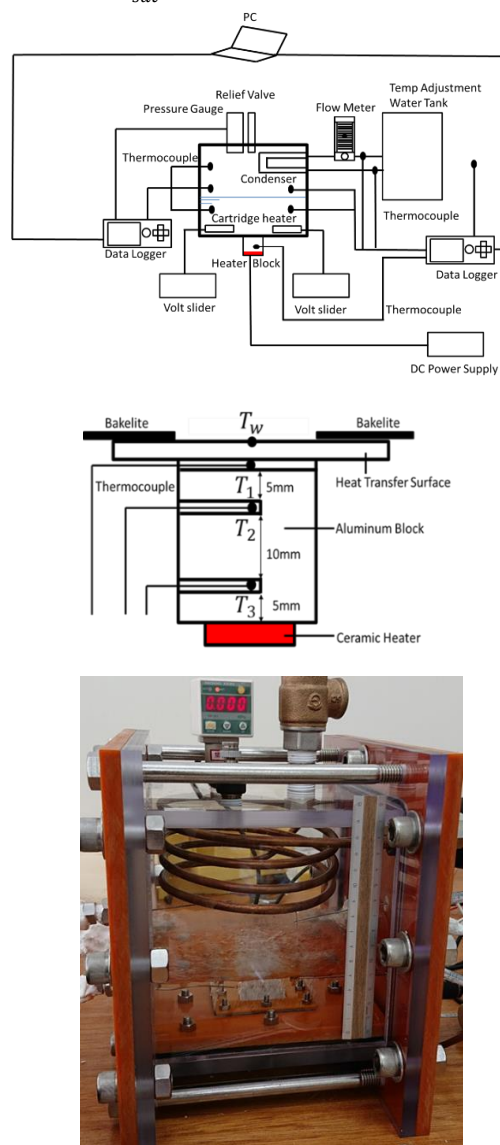


Fig. 1 Experimental apparatus

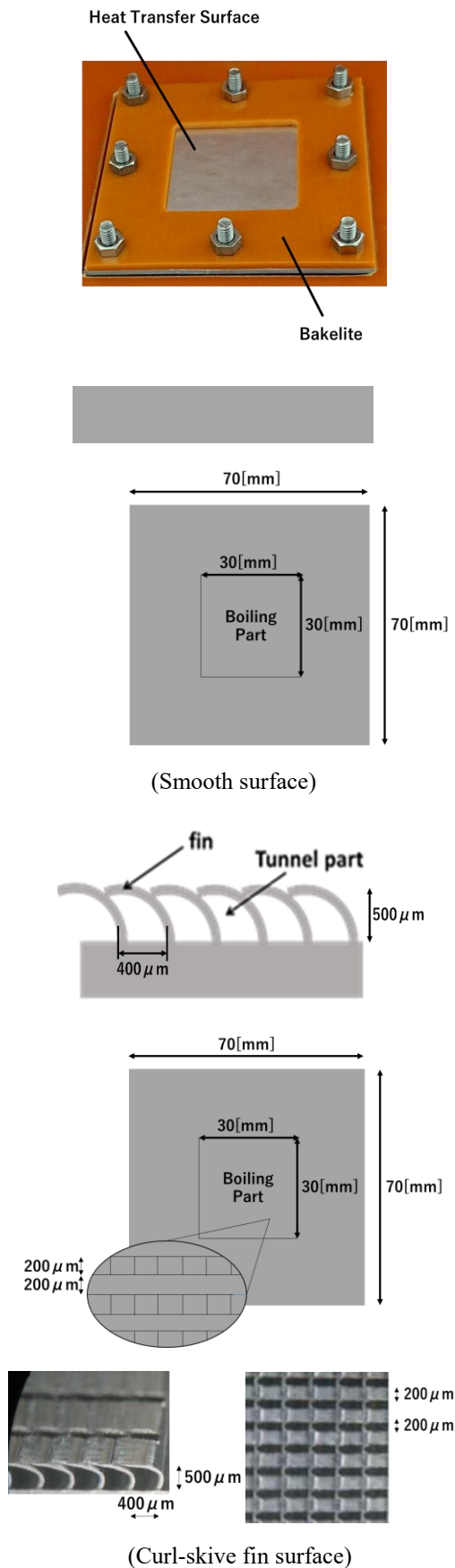


Fig. 2 Heat transfer surfaces

3. 実験結果

Fig. 3 に HFE7000 の飽和蒸気圧曲線¹⁾と平滑面での測定値(測定時の系圧力と液温との実測値), Fig. 4 に HFE7000 の飽和蒸気圧曲線と多孔面での測定値を示す.なお,表示した測定値はすべて 30W 入熱時のものである. Fig. 3, Fig. 4 より,いずれの場合も測定値は飽和蒸気圧曲線上にあり,本研究に使用した伝熱面では各圧力で飽和沸騰となっていることが確認できる.

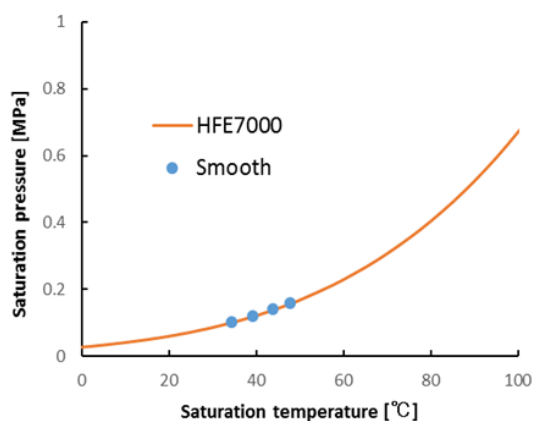


Fig. 3 Steam pressure curve (smooth)

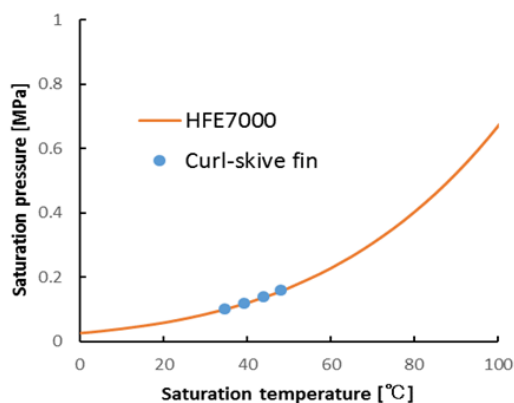


Fig. 4 Steam pressure curve (Curl-skive fin)

Fig. 5 に平滑面の 0.10MPa, 0.16MPa の 40W, 多孔面の 0.10MPa, 0.16MPa の 40W の沸騰様相をそれぞれ A-(a)~B-(b)として示す. A, B は Fig. 6, 7 の同一熱流束のラインである. A-(a)と A-(b)を比較すると平滑面においては圧力が高い方が気泡の径が小さく,量も多いことが観測された.この傾向は B-(a)と B-(b)のよ

うに伝熱面形状が変化しても同様となった.また, A-(b)と B-(b)を比較すると,多孔面の場合である B-(b)の方が勢いよく上昇していることがわかる.これは多孔面に設けられたトンネル形状による効果と考えられる.

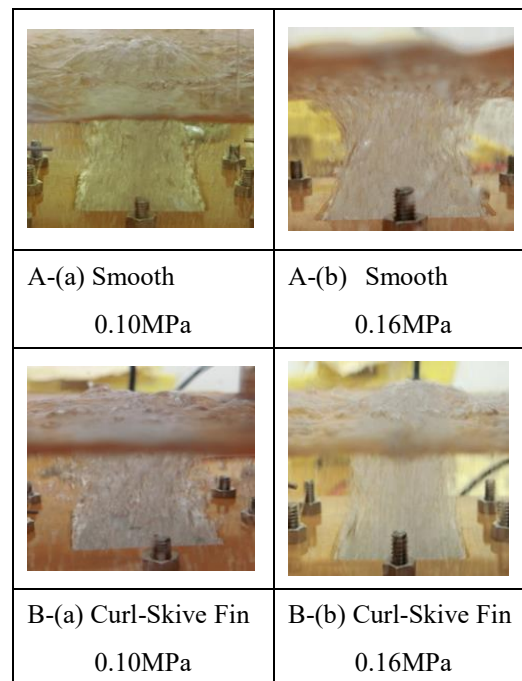


Fig. 5 Bubbles near the heat transfer surface

Fig. 6, Fig. 7 にそれぞれ平滑面と多孔面の沸騰曲線を示す. Fig. 6 より平滑面の場合, 圧力の上昇とともに沸騰曲線の傾きが緩やかとなり, 過熱度 17K 付近までは高压状態の方が 0.10MPa よりも伝熱性能が高いことがわかる. しかし, 過熱度が 17K を超えると伝熱性能は逆転し, 高压にするほど性能が下がっている. また, 0.10MPa では過熱度 17K 付近から急激に伝熱性能が向上する. 一方, Fig. 7 より多孔面の場合, 今回の測定範囲内では高压にするほど沸騰開始が早まり, 伝熱性能が向上することがわかる. また, 高熱流束側では沸騰曲線における測定点が圧力によらずほぼ同一となる傾向が見られた.

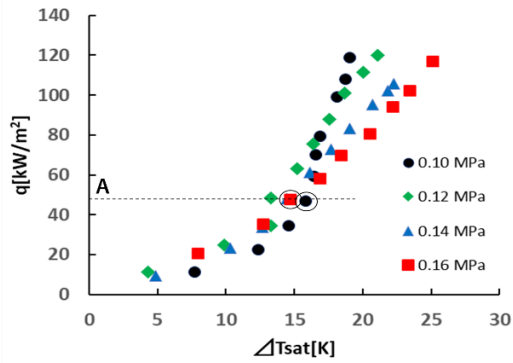


Fig. 6 Boiling curve (smooth surface)

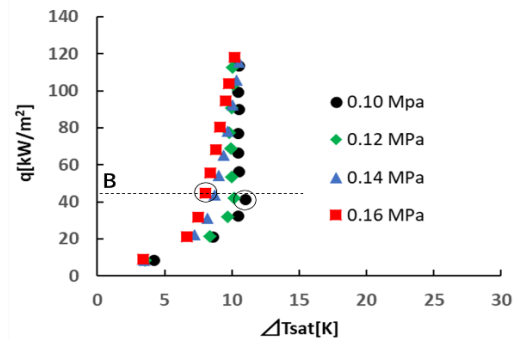


Fig. 7 Boiling curve (Curl-skive fin surface)

Fig. 8 に平滑面,多孔面の圧力 0.10MPa, 0.16MPa での沸騰曲線を示す.平滑面,多孔面の 0.16MPa を比較すると,多孔面の方が沸騰開始が早く,熱流束 $q = 120\text{kW/m}^2$ の点で比較すると約 2.6 倍の伝熱性能となっている.また,平滑面,多孔面の 0.10MPa を比較するとこちらも多孔面の方が沸騰開始が早く,熱流束 $q = 120\text{kW/m}^2$ での伝熱性能は約 2.0 倍となっている.これは多孔面の構造(トンネル形状)による伝熱面積拡大と気泡の生成,離脱の促進による効果と考えられる.

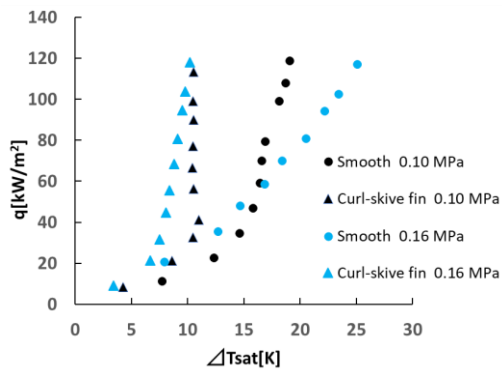


Fig. 8 Boiling curve (0.10[MPa], 0.16[MPa])

Fig. 9 は Fig. 8 の測定値を熱伝達率に変換したものである. Fig. 9 より,いずれの圧力に対しても多孔面の熱伝達率は過熱度 7K 付近から急激に増大していることがわかる.一方,平滑面の熱伝達率は過熱度とともに増大しているものの,その変化は比較的なだらかなのである.

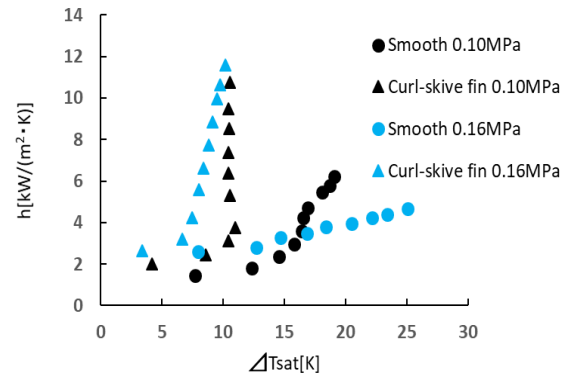


Fig. 9 Heat transfer coefficient

4. 結言

アルミニウム伝熱面のフロン系冷媒 HFE7000 中での飽和プール沸騰伝熱特性に関して,平滑面及びトンネル形状を多数有する多孔面を用いた実験的検討を行い,以下の結論を得た.

- (1) 平滑面を用いた場合,過熱度 15K 付近までは高压の方が伝熱性能が良いが,その後逆転し大気圧下の方が良くなる. また,測定を行った 0.10MPa から 0.16MPa までの範囲では,高压になるほど沸騰曲線は緩やかになる.
- (2) 多孔面を用いた場合,測定を行った熱流束 $q = 120\text{kW/m}^2$ までの範囲では,高压になるほど伝熱性能が良い.
- (3) 圧力 0.10MPa,熱流束 $q = 120\text{kW/m}^2$ での伝熱性能は平滑面の約 2.0 倍となる. 一方,圧力 0.16MPa,熱流束 $q = 120\text{kW/m}^2$ での伝熱性能は平滑面の約 2.6 倍となる.

5. 参考文献

- (1) Takayuki FUJIMOTO, Evaluation on cooling performance and reliability of low-height aluminum thermosiphon in high-temperature environment, 2019