

低GWP冷媒を用いた高熱流束冷却システムに関する研究

呂, 智原

<https://hdl.handle.net/2324/1500766>

出版情報：九州大学, 2014, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3,4）

博士論文要約

論文題名：低 GWP 冷媒を用いた高熱流束冷却システムに関する研究

氏 名：呂 智原

所 属：総合理工学府 環境エネルギー工学専攻 熱エネルギー変換システム学研究室

近年、半導体技術の急速な進歩によって、多くの電子機器は年を追うごとに小型化・高性能化されてきている。そして、それに伴って電子機器の発熱密度も増加の一途をたどっており、電子機器の安定した正常動作を保証するための冷却技術が重要な課題となっている。従来、電子機器の冷却技術としては、自由対流や強制対流による空冷方式、小型ヒートパイプ方式、液単相流による冷却方式などが用いられてきたが、それらの冷却方式は、今後の電子機器の小型化・高性能化に対応できない状況になりつつある。そのため、従来の冷却方式に比して大幅な性能向上が期待できる沸騰現象を応用した冷却方式が注目されている。しかしながら、この冷却方式の性能は、作動流体の種類とその作動温度域によって大きく異なる可能性がある。100°C 以下の作動温度域に適した作動流体としては、換算圧力が水に比して高いフロン系冷媒が期待されるが、その場合には地球温暖化係数 (Global Warming Potential: 以下, GWP) が小さい冷媒を用いる必要がある。

以上の背景の下に、本論文では、低 GWP 作動流体の沸騰現象を応用した、ループ型自然循環冷却方式とポンプによる強制循環冷却方式を提案し、それらの冷却性能を評価した。前者の冷却方式に関しては、R1234ze(E)および R1234ze(Z)の二種類の低 GWP 作動流体に関して、作動流体充填率、蒸発器伝熱面形状などが冷却性能に及ぼす影響を検討した。後者の冷却方式に関しては、低 GWP 作動流体 1234ze(E)に関して、作動流体の蒸発器入口過冷度および質量速度が冷却性能に及ぼす影響について検討を行った。以下に、全 5 章で構成される本論文の内容を説明する。

第 1 章では、沸騰現象を応用した電子機器の冷却方式に関する従来の研究を概説し、本研究の意義と目的を示した。

第 2 章では、ループ型自然循環冷却方式およびポンプを用いた強制循環冷却方式の評価に用いた実験装置、実験方法、ならびにデータ整理方法について説明した。

第 3 章では、ループ型自然循環冷却方式の冷却性能について実験的に評価した。低 GWP 作動流体 R1234ze(E)については 4 種類の蒸発伝熱面 (平滑面, ブラスト面, メッキ面およびフィン面) の実験を行い、低 GWP 作動流体 R1234ze(Z)については 3 種類の蒸発伝熱面 (ブラスト面, メッキ面およびフィン面) の実験を行い、以下のことを明らかにした。

(1) 作動流体の種類、蒸発器伝熱面の形状および充填率によらず、実投入熱流束の増加とともに、ループ内圧力は徐々に上昇した。これは、空冷凝縮器の空気流速を一定としているため、実投入熱流束の増加に対応して、ループ内の作動流体温度 (飽和温度) と環境温度との差が大きして凝縮器での放熱量を増加させる必要があるためである。

(2) 作動流体の種類および蒸発器伝熱面の形状によらず、充填率の増加とともに、凝縮器熱抵抗 (凝縮器内の作動流体から空気への熱抵抗) は増加し、ループ内圧力は上昇した。ループ内圧力の上昇に対応して、蒸発器沸騰熱抵抗はわずかに低下した。また、システム熱抵抗が最小

となる，すなわち電子機器の発熱体を模擬した加熱ブロックの表面温度上昇が最も低い充填率が存在することを示し，その値を最適充填率とした．

(3) 蒸発器伝熱面としてブラスト面，メッキ面およびフィン面を用いた場合について，最適充填量における R1234ze(E)と R1234ze(Z)の冷却性能を比較して，蒸発器沸騰熱抵抗に関しては R1234ze(E)が小さく，凝縮器熱抵抗に関しては R1234ze(Z)がわずかに小さいことを示した．また，いずれの作動流体の場合も，実投入熱流束の増加とともに，蒸発器沸騰熱抵抗は徐々に低下し，ブラスト面では実投入熱流束が 110～120 W/cm² でドライパッチが生じて蒸発器沸騰熱抵抗が急激に増加すること，メッキ面およびフィン面では実投入熱流束が約 150 W/cm² までドライパッチは生じず，蒸発器沸騰熱抵抗は低い値で維持できることを確認した．さらに，システム熱抵抗は，メッキ面を用いた場合は 125～150 W/cm² の実投入熱流束の範囲で，フィン面を用いた場合は 15～150 W/cm² の実投入熱流束の範囲で，R1234ze(Z)に比して R1234ze(E)の方が小さいことを示した．

第 4 章では，ポンプによる強制循環冷却方式として，低 GWP 作動流体 R1234ze(E)を用いたミニチャンネル蒸発器の冷却性能に関する実験を，作動流体の蒸発器入口過冷度 (5, 10 および 15 K) および質量速度 (72, 144, 216 および 288 kg/(m²·s)) を変えて行い，以下のことを明らかにした．

(1) 作動流体の蒸発器沸騰熱抵抗は，ループ型自然循環冷却方式と同様に，ドライアウトが出現するまでは，実投入熱流束の増加とともに徐々に低下して一定値を維持した．また，実投入熱流束が約 50 W/cm² 以下の低熱負荷の条件では，上流側では，サブクール沸騰が生じて，作動流体の蒸発器入口過冷度および質量速度が大きいほど蒸発器沸騰熱抵抗は大きくなった．一方，下流側では，作動流体の蒸発器入口過冷度および質量速度が大きいほど，ドライアウトが生じる直前の実投入熱流束は高くなった．

(2) 蒸発器伝熱面の外表面と電子機器の発熱体を模擬した加熱ブロック表面の間の接触熱抵抗は，実投入熱流束の増加とともに徐々に低下した．これは，実投入熱流束の増加とともに，熱膨張によって接触面の圧力が上昇したことによる．また，沸騰熱抵抗，蒸発器伝熱面内の伝導熱抵抗および接触熱抵抗の総和で表されるシステム熱抵抗と実投入熱流束の関係は，蒸発器沸騰熱抵抗の場合と同じ傾向を示した．

(3) ミニチャンネル入口の急縮小による圧力損失，ミニチャンネル内の単相流および二相流の摩擦圧力損失，ミニチャンネル内の二相流における加速損失，ミニチャンネル出口の急拡大による圧力損失の和で表されるミニチャンネル蒸発器内の圧力損失の予測計算を行ったが，その結果は実験値と±30%以内で一致した．

(4) 電子機器の発熱体を模擬した加熱ブロックの表面温度を 80°C 以下に維持できる実投入熱流束の最大値は，作動流体の蒸発器入口過冷度が 5K で質量速度が 288 kg/(m²·s)の場合に最も高くなり，その値は 140 W/cm²であった．

第 5 章は，本論文の総括である．