

[別紙 2]

審査の結果の要旨

論文提出者 鈴木 昌彦

発熱量や発熱密度が増大している IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)などの半導体電力制御素子を用いたパワーモジュール (PM と略記) に対して、温度分散・体積・重量がともに小さな冷却装置が要求されている。本論文は、こうしたニーズを背景として、「パワーモジュール用高性能冷媒循環式小型沸騰冷却器の開発に関する研究」と題し、信頼性・放熱性能に優れた自動車用積層型放熱コアを空冷凝縮器として転用し、これと均一冷却性能に優れた薄型沸騰冷却器とを自然循環系で結んだ「密閉型多管式二相熱サイフォン構造」(Closed Multi-Tube Thermo siphon、CMTS と略記) を提案し、薄型沸騰冷却器における伝熱促進および限界熱流束条件等に関して得られた知見を基に、CMTS に関する設計指針を構築し、最終的に従来方式 (例えばヒートパイプ冷却方式) に比べて温度分散で 1/6、体積で 1/4、重量で 1/4 の冷却装置を開発した経緯をまとめたものである。

論文は 6 章よりなる。第 1 章の「緒論」では、上記 PM の冷却に関するニーズおよび開発目標 (従来の冷却期に比べて温度分散で 1/3、体積・重量ともに 1/2) をまとめるとともに、関連する知見を整理している。

第 2 章は「開発する小型沸騰冷却器のコンセプトと新冷媒槽構造」と題し、まず PM の多段取付けも可能な上記 CMTS のコンセプトを提案している。そして、PM の単段取付けを対象に薄型沸騰冷却器実験を行い、冷媒槽内に整流板を設けることにより (沸騰冷却面での熱伝達を劣化させる) 発生蒸気の内部循環を抑制できること、熱伝達を最大にする整流板ピッチが発生気泡径近くに存在すること、沸騰冷却器と空冷凝縮器間に設置する冷媒流制御版の傾斜角にも最適値が存在することを示した。

第 3 章は「研究した冷媒自然循環制御技術」と題し、まず冷媒自然循環の駆動力を解析し、これに基づくドライアウト発生条件を定式化している。次いで、両端開の自然循環流路における限界熱流束の既存整理式と本系により得られた限界熱流束実験値とを比較し、良好な一致が得られることを示し、限界熱流束と (循環力に基づく) ドライアウトとの両者を下回る範囲が CMTS 系の設計可能領域であることを示している。

第 4 章は「PM 多段取付け時の課題抽出と小型沸騰冷却器の設計指針」と題し、多段取

付け時と PM 非定常発熱時の冷却特性とについて実験的に検討している。まず、多段取付け時でも、第 2 章で提案された CMTS は温度分散が小さいこと、および第 3 章で指摘した設計可能領域条件が成立することを確認している。次いで、非定常発熱時（矩形波状発熱の繰り返し時）には、負荷急減時にドライアウトが発生することを見出し、これは負荷急減時に生じる自然循環力低下により冷媒戻り通路で発泡・逆流が起こることに起因することを示し、これを抑制する簡便な方法を提案している。

第 5 章は「開発した小型沸騰冷却器の性能と限界」と題し、第 2 章～第 4 章で得られた知見を基に、製造コスト的にも見合う CMTS を設計し、その評価を行い、開発目標を大きく上回る性能（従来のヒートパイプ冷却方式に比べて温度分散で 1/6、体積で 1/4、重量で 1/4）が達成されたことを報告している。また、併せて、将来のニーズとして、複数列・多段の PM が設置された場合の不均一発熱の影響を取り上げ、2 列の場合には、冷媒戻り通路側の PM に全ての発熱が偏った場合に、戻り通路内での発泡によりドライアウトが発生することを示し、PM と戻り通路との間の熱遮断技術が重要となることを示している。

第 6 章は、以上をまとめた「結論」である。

以上要するに、本論文は半導体電力制御素子を用いたパワーモジュールの冷却制御に関し、従来に比べて温度分散・体積・重量ともに遥かに小さい冷却装置を提案し、設計指針を得るとともに、それに基づき実機を開発したものであり、パワーモジュールの適用範囲の広さを含めて、機械工学の発展に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。