

不均一熱負荷並列ミニチャンネルの沸騰熱伝達および流量変動現象に関する研究

黒瀬, 築

<https://doi.org/10.15017/2534448>

出版情報 : Kyushu University, 2019, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 黒瀬 築

論 文 名 : 不均一熱負荷並列ミニチャンネルの沸騰熱伝達および流量変動現象
に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

冷凍空調機器をはじめとしたヒートポンプ機器の需要は世界で増加し続けており、ヒートポンプ機器の省エネルギー化が重要な課題となっている。その達成のためには、主要要素機器である熱交換器の高性能化を図る必要がある。その一つの方法として、水力直径 1 mm 程度のミニチャンネルを並列に多数有する扁平多孔管と呼ばれる伝熱管を冷媒流路に用いた熱交換器の開発が進められている。しかしながら、特に扁平多孔管を蒸発器で用いる場合には、並列流路間で熱負荷が不均一になることにより冷媒の不均一分配が生じること、また並列流路の沸騰流に特有の不安定流動（流量振動）が生じやすいことなどにより、伝熱性能の予測が困難であり、現在予測技術は確立されていない。本論文は、扁平多孔管を用いる蒸発器の性能予測を可能にするため、並列ミニチャンネルの流路間の熱負荷が不均一な条件を含めて、実験により沸騰熱伝達、流量分配および流量振動の基礎特性を明らかにするとともに、これらを予測するシミュレーションモデルの開発を行ったものである。

第 1 章では、不均一熱負荷並列ミニチャンネルにおける沸騰熱伝達、流量分配および流量振動の特性解明の重要性について説明し、本研究に関連する従来の研究を概説して、本論文の目的を明らかにした。

第 2 章では、2 並列ミニチャンネルを対象に、伝熱管への直接通電により冷媒を加熱する方法を用い、流路間の熱負荷不均一度と流量分配特性および不均一度と沸騰熱伝達特性のそれぞれの関係を、平均流量、分岐前クオリティおよび冷媒種を変えながら実験により明らかにした。その結果、熱負荷が不均一の場合、流量とクオリティの不均一分配が生じ、熱負荷の大きい流路側で流量とクオリティがともに減少することを明らかにした。また、分岐前クオリティおよび冷媒物性が流量分配に及ぼす影響は小さいが、クオリティ分配へ与える影響は大きかった。さらに、熱負荷が不均一な場合の並列流路の平均熱伝達率の定義を検討し、不均一熱負荷条件下の平均熱伝達率は、均一条件下と比べて低下する傾向にあることを明らかにした。得られたデータを基に、流量とクオリティの分配量の高精度な予測式をそれぞれ作成した。また、これらと単管を対象とした沸騰熱伝達に関する整理式を組み合わせ、平均熱伝達率の実験値を精度よく予測する方法を提示した。

第 3 章では、2 並列ミニチャンネルを対象に、高温流体により冷媒を加熱する方法を用いて、実機を想定した平均流量・平均伝熱面温度条件における沸騰熱伝達実験を行った。実験では、伝熱面温度の流路間不均一度と冷媒への伝熱量の関係について、平均流量と分岐前クオリティを変えながら検討を行った。流路間の伝熱面温度差が拡大するにつれて、冷媒への伝熱量は、伝熱面温度が高い流路側ではほとんど変化せず、低い側では大きく低下し、2 流路平均の伝熱量は顕著に低下することを明らかにした。また、均一熱負荷時と比べた不均一熱負荷時の伝熱量の低下割合は、平均流量が大きいほど大きく、最大 4 割程度低下した。

第4章では、不均一熱負荷並列ミニチャンネルの沸騰熱伝達率および流量分配を予測するために開発したシミュレーションモデルを示し、計算結果について検討した。まず、2並列流路を対象に、モデルにより得られた冷媒への伝熱量が、実験結果と定量的に一致することを確認した。さらに本モデルが、実験では測定が難しい各流路の流れ方向局所クオリティ、局所熱伝達率、局所熱流束に加えて、各流路への冷媒分配量を予測できることを示し、実験で生じた伝熱量変化のメカニズムを定量的に説明できることを示した。さらに、実機扁平多孔管相当の10並列流路を対象とした計算も行い、不均一熱負荷条件下では、2並列流路と同様に平均伝熱量が低下することを示した。また、並列流路両端の流路間熱負荷差のみならず、中間流路の熱負荷分布が平均伝熱量の予測に及ぼす影響が大きいことを明らかにし、多並列流路の伝熱量の予測には、流路間の熱負荷分布を正しく見積もる必要があることを示した。

第5章では、並列ミニチャンネルで生じる流量振動現象について、4章と同じシミュレーションモデルを用いて検討した。まず、本モデルが、流量と圧力損失の時間変動を計算でき、密度波振動の発生機構を再現できること、実験で得た流量振動の周期と差圧振幅を精度よく予測できることを確認した。また、均一熱負荷の場合には、流量振動の発生限界は流量によらず入口クオリティと平均出口クオリティの関係でよく整理できること、不均一熱負荷の場合には、均一熱負荷の場合に比べて流量振動が発生しやすいことを予測により指摘した。さらに、サブクール流入条件のみを対象とした従来の振動発生限界線図を、入口二相条件に拡張し、より一般性の高い限界線図を示した。また、流量振動の発生により、流路下流側で周期的に高クオリティの領域が拡大するため、安定流動と比べて加熱区間平均熱伝達率が大きく変動する可能性を示した。

第6章では、本論文の総括を行った。