

論文審査の結果の要旨

氏名 赤木 智

冷凍空調機器の冷媒として用いられているフロンを自然冷媒の一つである二酸化炭素に置き換えることによって地球温暖化の防止に貢献することが期待されている。しかし、二酸化炭素を用いる蒸気圧縮式ヒートポンプは従来のフロン系冷媒のものに比べてエネルギー消費効率が低いので、普及が進んでいない。そこで、本論文では気液二相流エジェクタを用いてヒートポンプサイクルの効率を向上させることを目的として、エジェクタ内部流動について、実験と計算の両面から解析を行っている。

本論文は 6 章からなり、第 1 章において二酸化炭素冷媒の特徴や、膨張動力回収によるサイクル COP の向上方法、膨張動力回収手段として膨張機と気液二相エジェクタを用いたサイクルの概要と従来研究をまとめ、本研究の位置付けを明らかにしている。

第 2 章において気液二相エジェクタを用いた蒸気圧縮式ヒートポンプのサイクル特性をサイクルシミュレーションによって明らかにしている。従来のサイクル計算においては、膨張機が主に断熱効率をパラメータとして扱って評価するのに対し、エジェクタは内部流動を解く形でサイクル計算を行っていたため、両者のサイクルは統一的な尺度をもって比較されてこなかった。本論文ではエジェクタに関する断熱効率を定義し、それぞれの断熱効率を統一的な尺度として用いて、サイクル COP そのものから、各種のパラメータがサイクル COP に与える影響まで比較を行っている。

その結果、膨張機とエジェクタそれぞれの機器内部ではエントロピー生成が無い場合でも、膨張機サイクルの方が COP が高いことを示している。また膨張機やエジェクタの断熱効率が高い場合には内部熱交換が性能を悪化させることや、圧縮機効率が低くなると膨張機サイクルよりもエジェクタサイクルの方がサイクル COP が高くなることを明らかにしている。次に、エジェクタの内部流動を考慮したモデルにより、ノズル効率・ディフューザ効率がともに 1 であれば、吸引流がチョークするようなエジェクタ面積比が、蒸気圧縮式ヒートポンプに適用されるエジェクタの最適設計であることを示している。また、エジェクタには可動部がないため部分負荷に対応しづらいという欠点があると言われているが、ノズル出口における過膨張・不足膨張を考慮に入れて部分負荷特性を明らかにしている。

第 3 章においては、二酸化炭素を媒体とする気液二相エジェクタの実際の性能を明らかにするために実機と同様の装置で行った実験の概要をまとめている。

第 4 章においては、実験結果をまとめて考察している。直線混合部の長さに関して、長すぎる場合は管摩擦損失によって圧力回復が徐々に低下することや、逆に短すぎる場合は混合部内における駆動流と吸引流との間の、または液相と気相との間の運動量交換が不十分なまま断面積の大きい空間へ噴出するために、圧力回復が急激に低下することを示している。また、直線混合部面積に関しては、過大であると運動量保存則に従って圧力回復が低下し、過小であると駆動流と吸引流との流速の接近と、混合部出口流速の増加による混合部内での運動量減少量の低下から、直線混合部内での圧力回復が低下することを明らかにしている。本研究対象において等圧混合エジェクタと等面積混合エジェクタとのどちらが適しているかを明らかにするためにノズル出口クリアランスを離す実験を行い、他の

条件が同じであればノズル出口クリアランスが小さいほど圧力回復が大きいという結果を得ている。これは等面積混合エジェクタの方が圧力回復が大きいことを意味する。

第5章において、混合部における軸方向の運動量交換を解析するために $k-\epsilon$ モデルを用いて気液二相エジェクタの混合部の二次元流動解析を行っている。気相と液相との運動量交換は液滴が大きいほど遅れるため、混合部内における昇圧が遅くなり、結果、管摩擦損失が蓄積して混合部内での圧力回復の最大値が小さくなることを明らかにしている。本モデルにおいては液滴径を約 $10\mu\text{m}$ 以下としたときに、圧力回復の位置について、実験結果との良好な一致を得ている。また、等面積混合エジェクタと等圧混合エジェクタとの比較のためにノズル位置を変化させた計算を行い、ノズル位置を直線混合部から遠ざけるほど、直線混合部入口の圧力は増加するが、直線混合部出口における圧力は小さくなることを示している。

第6章は、結論であり、上記に研究について総括し、得られた主な結果と新しい知見についてまとめている。

本研究の全般にわたって論文提出者が主体となって実験及び数値解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（環境学）の学位を授与できると判定する。