

氏名(本籍)	弗田 昭博		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第 9825 号		
学位授与年月日	令和 3 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	蒸気インジェクターの伝熱流動挙動と作動特性		
主査	筑波大学 教授	博士(工学)	阿部 豊
副査	筑波大学 教授	工学博士	文字 秀明
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	西岡 牧人
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	金子 暁子
副査	防衛大学校 教授	博士(工学)	中村 元

論文の要旨

蒸気インジェクター(以下「SI」)は、蒸気と水の直接接触凝縮により駆動する静的噴流ポンプであり、混合ノズル、スロートおよびディフューザーで構成される。外部動力を必要とせず、凝縮による高い伝熱性能と噴流ポンプとしての昇圧性能を有するため、ヒートポンプにおける凝縮器と圧縮機を補助することによってシステムの高効率化が実現されることが期待されている。

本論文では、寸法の異なる複数の可視化可能な透明 SI を用いて、SI 内部の流動可視化観測を行って、作動状態と不作動状態の流動様式判定を行うとともに、作動状態における混合ノズルとディフューザーの流速と圧力の計測に基づいて蒸気インジェクターの昇圧メカニズムを明らかにしている。明らかとなった作動メカニズムにより、蒸気の完全凝縮条件と混合ノズルが満水となる条件によって、作動条件範囲が同定できることを明らかにした。

また、SI 作動状態における内部流動に対して、準一次元二流体モデルを用いた軸方向圧力分布の数値計算手法を構築した結果、実験で計測された圧力分布が、本数値計算手法によって精度良く予測できることを明らかになり、本数値解析手法が実機の最適設計への適用可能性を示した。

さらに、並列一体型蒸気インジェクターの実用化に向けて、スロート径が 2.0 mm である小型 SI を 4 基搭載した並列一体型蒸気インジェクターを試作し作動実験を行った。その結果、並列型デバイスの最大吐出圧力は個別流路の性能に依存するものの、個別流路の状態がデバイス全体の吐出圧力に及ぼす影響は小さい可能性を明らかにした。

本論文で示された結果は、小型かつ高効率な熱機器の実現に向けた蒸気インジェクターの伝熱流動挙動と作動特性の解明を達成するとともに、並列一体型蒸気インジェクターの実用化に向けた重要な成果を得ているものである。

審 査 の 要 旨

【批評】

地球温暖化対策のための要件の一つとして、省エネルギーの実現が強く求められている。省エネルギーを実現するための鍵となる技術としてヒートポンプがある。ヒートポンプは、空調機や給湯器などの多くの熱機器に利用されており、その小型・高効率化が求められている。熱機器の小型高効率化を実現するための革新的な新技術として、蒸気インジェクター（以下「SI」）が提案されている。

SIは蒸気と水の直接接触凝縮により駆動する静的噴流ポンプであり、混合ノズル、スロートおよびディフューザーで構成される。外部動力を必要とせず、凝縮による高い伝熱性能と噴流ポンプとしての昇圧性能を有するため、ヒートポンプにおける凝縮器と圧縮機を補助することによってシステムの効率向上が期待される。

ヒートポンプにSIを適用する特許が阿部らにより取得されている。本特許では、既存の解析モデルを用いた数値計算により、スロート径を縮小させることで昇圧性能が非線形的に向上するという結果が得られている。計算で性能向上が見込まれるスロート径は1 mm以下である一方で、既存研究において実験的に小型SIを作動させ昇圧が確認されているスロート径は3~7 mm程度であり、2 mm以下のスロートを有するSIに関する実験的知見は乏しかった。また、SIの小型化にあたり特に水の供給における圧力損失の顕在化によって流量低減が懸念されていた。さらに、SI内部の流動は水と蒸気の凝縮を伴う複雑な流れで成り立っているため、実際に設計を行う際に考慮すべきSIの作動条件や昇圧性能の予測について十分に解明されているとはいえない現状であった。

本研究は、SIの伝熱流動挙動および作動特性を解明するとともに、SIの作動と不作動の特性を実験的かつ理論的に明らかにし、SIの作動条件を解明している。さらに、ポンプ性能の指標である吐出圧力を予測するための内部流動をモデル化し、数値解析手法を開発し、その手法によって圧力分布が予測できることを明らかにしている。得られた知見を統合し、並列一体型蒸気インジェクターを試作し、その実現可能性を明らかにしている。

本研究の成果は、小型高効率熱交換デバイスである蒸気インジェクターの小型高効率化のために必要となる科学的知見ならびに実用化にむけた並列一体のために必要となる技術知見を得ており、地球温暖化対策のための省エネルギーを実現するための鍵となるヒートポンプの小型高効率化の実現に向けた新しい重要な知見を得ており、科学的かつ実用的にも重要な結果を得ている。

【最終試験の結果】

令和3年1月22日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。