

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 12861 号
------	---------------

氏 名 釘本 恒

論 文 題 目

熱遷移流を利用したクヌッセンヒートポンプの開発
(Development of Knudsen heat pump using thermal transpiration)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	准教授	山口 浩樹
委員	東北大学	准教授	米村 茂
委員	名古屋大学	教授	長田 孝二
委員	名古屋大学	教授	長野 方星
委員	名古屋大学	准教授	義家 亮

論文審査の結果の要旨

釘本恒君提出の論文「熱遷移流を利用したクヌッセンヒートポンプの開発」は、消費電力が低く連続駆動に適した新たなヒートポンプの開発を目的として、高クヌッセン数流れに特異な現象として知られる温度差によって駆動される熱遷移流を利用したクヌッセンコンプレッサーに着目し、これをコンプレッサーとして用いた可動部のない熱駆動によるヒートポンプであるクヌッセンヒートポンプを提案し、その性能を予測する手法を構築するとともにプロトタイプを構築して動作実証を行ったもので、全6章から構成されている。

第1章では、まず、研究背景、関連する先行技術、目的について説明し、本研究の意義、位置づけを明らかにしている。そして、提案するクヌッセンヒートポンプの構成、原理、期待される特徴について説明している。

第2章では、クヌッセンヒートポンプにおいて冷媒として用いる水蒸気のクヌッセンコンプレッサーによる輸送実験を行っている。このクヌッセンコンプレッサーは、微細流路の集合体として多孔体を用い、熱交換器で挟み込むことにより多孔体表裏に温度差を与えるものである。2つの真空容器の間にクヌッセンコンプレッサーを挿入し、真空容器間における圧力差の時間変化を調べている。その結果、クヌッセンコンプレッサーにより水蒸気の輸送が実現できることを実験的に示している。また、通過する質量流量と生じる圧力差の最大値は、クヌッセンコンプレッサーを駆動するために付加した温度差におおよそ比例することを明らかにしている。

第3章では、発生圧力差を大きくするために多段化したクヌッセンコンプレッサーに対する性能予測モデルの提案を行い、その有効性について検証している。多段クヌッセンコンプレッサーを各クヌッセンコンプレッサーで仕切られた空間群とみなし、各空間における圧力の時間発展を一次元の漸化式で記述し、質量保存則を適用することによりモデル化している。そして、各段のクヌッセンコンプレッサーによる質量流量を実験により計測した結果から与えることにより、実用的な多段クヌッセンコンプレッサーの性能予測モデルを構築している。その結果、モデルによる予測結果と実際に多段クヌッセンコンプレッサーを構築して計測した実験結果が、定常値、過渡応答ともによく一致していることを示している。

第4章では、多段クヌッセンコンプレッサーを用いたクヌッセンヒートポンプの性能予測モデルの構築を行っている。前章で提案した性能予測モデルに加え、蒸発器と凝縮器における冷媒である水の蒸発、凝縮、さらに各空間における温度変化を考慮した上でモデルを構築し、性能予測を行っている。その結果、実用的な出力を得るために必要なクヌッセンコンプレッサーの構成予測を行い、面積 4 m^2 の石英繊維フィルタを用いて30段で構成することで、ヒートポンプ温度差 6 K において出力 1.27 kW と予測している。また、クヌッセンヒートポンプの最大出力はクヌッセンコンプレッサーの断面積に、最大温度差は段数に比例して増加することを明らかにしている。

第5章では、提案したクヌッセンヒートポンプのプロトタイプを実際に構築し、動作実証を行うとともに性能評価を行っている。特に太陽光で駆動することを想定し、光加熱によるクヌッセンヒートポンプの駆動を行っている。その結果、冷媒である水が蒸発器からなくなっていること、また熱輸送が行われていることを確認し、実際にクヌッセンヒートポンプを動作させることに成功している。そして、ヒートポンプ温度差として 0.85 K 、蒸発器における出力 3.08 W が得られることを示している。さらに、前章で予測された通り、クヌッセンヒートポンプの出力は温度差の低下に従って線形に増加することを明らかにしている。

第6章では、本研究によって得られた成果を総括している。

以上のように、本論文では熱遷移流を利用したクヌッセンコンプレッサーを用いたヒートポンプを提案し、実際に構築したプロトタイプにより動作実証と性能評価を行い、低質な熱源でも稼働する可動部のないヒートポンプを実現しており、工業的のみならず学術的にも工学の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文の提出者である釘本恒君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。