

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 2 5 年 6 月 1 4 日現在

機関番号：53301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011～2012

課題番号：23860060

研究課題名（和文） C02 二相流エジェクタの不適正膨張時における効率安定化に関する研究

研究課題名（英文） The efficiency stabilization of C02 two-phase flow ejector at the non-optimum expansion

研究代表者

原田 敦史（HARADA ATSUSHI）

石川工業高等専門学校・機械工学科・助教

研究者番号：40612023

研究成果の概要（和文）：

二相流エジェクタサイクルを製作し、二相流エジェクタ内の流動現象を実験により明らかにした。また、二相流エジェクタの昇圧現象により、圧縮機仕事を低減させ、COP を上昇させることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：

The flow phenomenon of the two-phase ejector is revealed by the experiment. It reduces the compression work and it increases the COP of the cycle.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2011 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：熱工学

科研費の分科・細目：機械工学科・熱工学

キーワード：冷凍空調，二相流

1. 研究開始当初の背景

京都議定書の採択により、日本は 2012 年までに 1995 年基準で 6.0% の温室効果ガスの削減が義務付けられている。現在、空調機などの冷凍サイクルに使用されている R-134a の代替フロン冷媒は自然冷媒の一つである炭酸ガスに比べて 1300 倍の地球温暖化係数を有している。今後、代替フロンから環境負荷の小さい自然冷媒が採用される可能性は高い。しかし、これらの冷媒は成績係数が非常に小さく、逆に地球温暖化を促進させる。

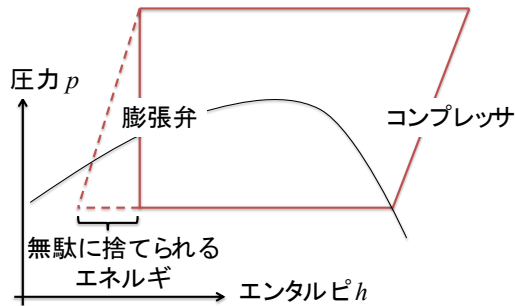
この自然冷媒の成績係数低下の主な原因は、圧縮機仕事の増大にある。余分な圧縮機仕事は冷媒の膨張時に運動エネルギーとして

開放されるが、膨張弁で無駄に捨てられる。左図は自然冷媒の一種である炭酸ガスの $p-h$ 線図である。図 1 (a) で示すように膨張過程時に膨張弁によって解放される運動エネルギーは、無駄なエネルギーとして捨てる。

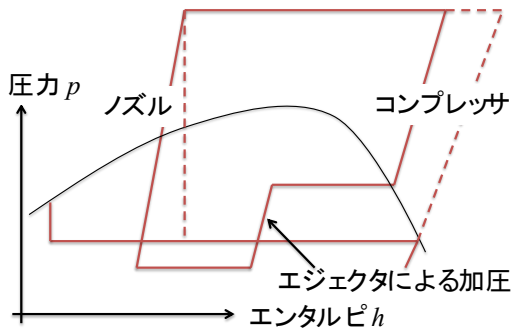
二相流エジェクタは、無駄に捨てられている有効な二相流の運動エネルギーを回収し、圧力エネルギーに変換して、コンプレッサー仕事を軽減し、冷凍サイクルの効率を向上させる。図 1 (b) は炭酸ガス冷凍機における $p-h$ 線図によってエジェクタの働きを示している。高速二相流を用いることにより、蒸発器の冷媒を吸引し、加圧することが可能となる。

2. 研究の目的

二相流エジェクタ内の流れは低クオリティ域のミスト流れであり、二相流の音速は気体の音速と比較して低いため、圧縮性二相流として扱う必要がある。これまでの二相流エジェクタ内の流れは一次元解析や二相流を非圧縮性と仮定する研究のみであった。しかし、本研究は多次元で低クオリティ域の超音速流れとして、二相流エジェクタ内の流れを扱うものである。冷凍サイクルにおける二相流エジェクタは、低圧部分で作動する補助のブースタポンプとして取り扱われ、これまで圧縮仕事のみ注目されてきた。しかし、本研究は二相流ノズルの出口が不適正膨張時の流れを解明し、様々な条件でエジェクタが高効率の条件で作動する方法を開発するものである。二相流エジェクタはノズル、混合部、昇圧部で構成されるシンプルな構造である。しかし、炭酸ガスで用いられる二相流エジェクタ内のノズルのど部径は0.4mm程度となり、流量の制御弁などを配置することが難しい。本研究は不適正膨張時の混合過程の流れを数値解析で予測し、幅広い領域で安定に性能が生み出せる二相流エジェクタの設計を行う。この二相流エジェクタの流れの予測は、我々が特別研究員奨励費「ノンフロン自然冷媒に適用される超音速二相流エジェクタの開発」で開発した運動量、熱、質量輸送を考慮した圧縮性二相流の解析コードを用いて



(a)膨張弁サイクル



(b)二相流エジェクタサイクル

図1 サイクルの p-h 線図

行うものである。

3. 研究の方法

本研究は、CO₂ を冷媒とした市販のヒートポンプ給湯器を改造し、実験用の二相流エジェクタサイクルを製作した。サイクルの構成図は、図2に示すとおりであり、サイクルを構成する各種機器の入口と出口に圧力トラ

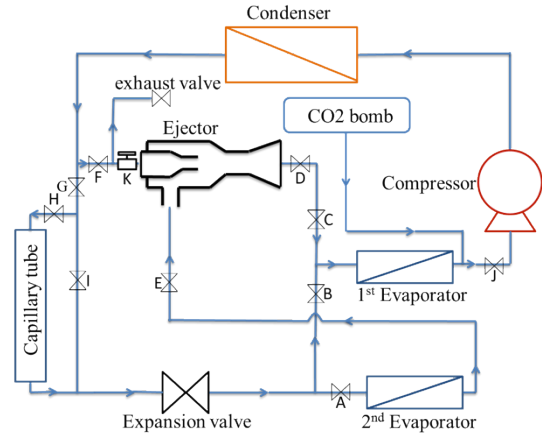


図2 製作したエジェクタサイクル図

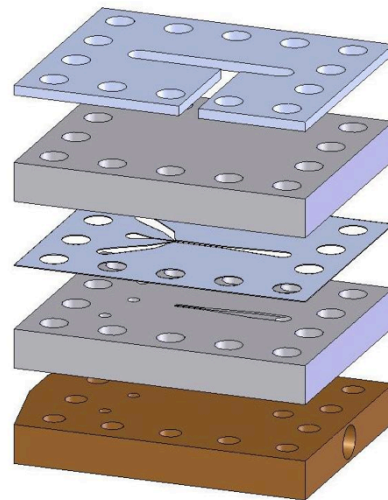


図3 二相流エジェクタ

ンスミッタと温度計測装置を設置した。また、このヒートポンプサイクル実験装置は、通常用いられる膨張弁サイクルと二相流エジェクタを用いたサイクルを切り替える事ができる形になっている。また、本研究は図3に示すような矩形流路を持つ二相流エジェクタをワイヤ放電加工機によって製作した。エジェクタは、混合部長さ 15[mm]、幅 1.5[mm]、ディフューザの長さ 25[mm]である。エジェクタ内に設置しているノズルは、通常のヒートポンプサイクルの稼働条件である 40[°C]、10[MPa]で適正膨張するように設計されている。また、二相流エジェクタ壁面には、熱電対が設置されており、エジェクタ内を流れる流体の温度が計測できるようになっている。また、ノズル喉部において、沸騰を開始し、分散相：液相、連続相：気相の高速ミスト流れとなるため、熱電対によって計測した温度から圧力を算出している。

4. 研究成果

(1)本申請予算によって製作したヒートポンプサイクルの特性を明らかにするため実際にサイクルを稼働させ、その性能を明らかにした。研究の方法にも記したように本装置は膨張弁サイクルとの切り替えが可能であるため、凝縮器、蒸発器、圧縮機などは同一の機器を用いて2つのサイクルの比較が可能である。図4は、二相流エジェクタの入口を 23.7[°C]、10[MPa]、圧縮機出口を固定し、サイクルの比較を行った実験結果である。膨張弁サイクルと二相流エジェクタを用いたサイクルの成績係数は、それぞれ 4.58、5.02 となり、二相流エジェクタをサイクルに組み込むことによって約 9%の成績係数の上昇が確認された。この実験により二相流エジェクタの有効性が明らかにされた。

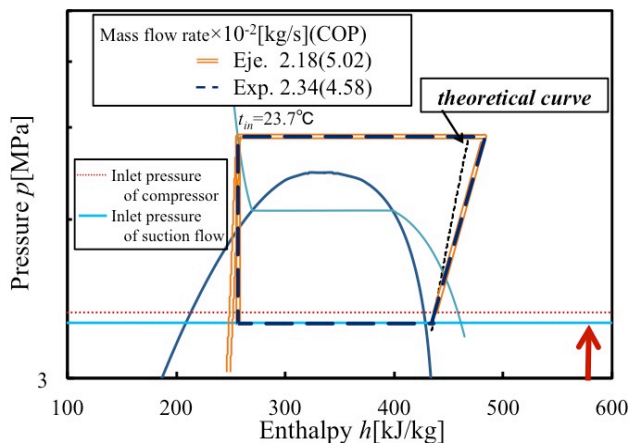


図4 ヒートポンプサイクル実験結果

(2)二相流エジェクタ内の流動現象を明らかにするため、流動壁に設けた圧力測定孔に熱電対を設置し、温度を計測した。また、エジェクタ内は気液二相流となっており、この温度から飽和圧力に換算し、圧力分布としている。また、ノズル内の点線は、連続相である気相と液滴の速度差が無く、圧力損失を考慮しない理想的な流動である IHE モデルによる計算結果である。実験結果と IHE モデルは、非常に良い一致を示しており、ノズル内の流動は IHE モデルに近い流れであることが確認された。また、混合部において、吸引流との混合による圧力上昇が確認された。しかし、拡大部における圧力上昇部は小さい。エジェクタは、拡大部において流体の持つ運動エネルギーを圧力エネルギーに変換するが、この変換が十分にできていない。この原因は今後明らかにする予定である。

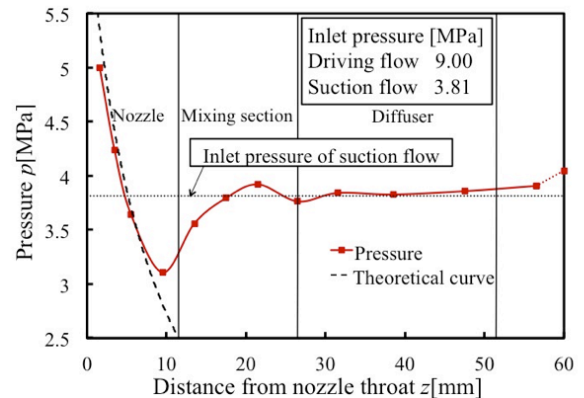


図5 エジェクタ内の圧力分布

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計1件)

原田敦史「二相流エジェクタにおける超音速ミスト流れの流動現象に関する研究」第47回北陸流体工学研究会, 2011年9月3日

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

(<https://sites.google.com/a/gm.ishikawa-nct.ac.jp/mech-fluidlab/>)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原田 敦史 (HARADA ATSUSHI)

研究者番号：40612023