

11. 水を用いた二相流エジェクタで発生する衝撃波の可視化研究

未来ビークルシティリサーチセンター 低炭素社会と先端省エネルギーコア
特定教授 中川 勝文

11-1 はじめに

エアコンや冷蔵庫といった冷凍サイクルに使用されている冷媒が環境に与える影響は年々減少傾向にあるが、依然として様々な問題が残っている。地球上に豊富に存在する水を冷媒とした冷凍サイクルの開発は、環境問題の解決に役立つと考えられる。従来から、我々はエアコンや冷凍サイクルのエネルギー変換効率を向上させる二相流エジェクタを開発してきた。二相流エジェクタには、作動流体の熱エネルギーを圧力エネルギーに変換してコンプレッサーの機械仕事を低減する働きがある。水を冷媒として使用する二相流エジェクタの研究はこれまでいくつかなされてきたが、他の主流な冷媒と比べると水のエネルギー変換効率はせいぜい30%と低く、性能面で劣っている¹⁾。

二相流エジェクタでは二相流を超音速まで加速させると、昇圧作用を持った二相流衝撃波が発生する。この昇圧作用を持った衝撃波を制御できれば、二相流エジェクタのエネルギー変換効率の上昇が可能になると考えられる。二相流エジェクタで発生する衝撃波の構造を調べるには可視化実験が有効である。現在行われている可視化研究では、蒸気と液滴が超音速で流れる二相流エジェクタ内で発生する二相流衝撃波の構造を明確に解明したものは報告されていない。そこで本研究では、水を冷媒として用いた二相流エジェクタ実用化への1つのステップとして、高速度カメラを用いて二相流エジェクタ内で発生する衝撃波の構造解明を目的とする。

11-2 水冷媒二相流エジェクタ実験

(1) 静圧測定

水冷媒を用いた二相流エジェクタの装置概略図を図11-2-1に示す。実験では、密閉したタンク内のヒーターにより152℃まで水を熱し、タンク上部から流出する蒸気と下部から流出する熱水を、図11-2-2の鳥瞰図のように流入させて混合することで二相流を作り出し、これを作動流体としてエジェクタに流し込んでいる。また、エジェクタ内部の現象を圧力分布より探るため、エジェクタ入口から出口にかけて12箇所の静圧を測定した。実験条件として、蒸気側と熱水側のバルブでエジェクタに流入する二相流の乾き度を決定し、エジェクタ出口のバルブでエジェクタ背圧を変化させながら実験を行った。

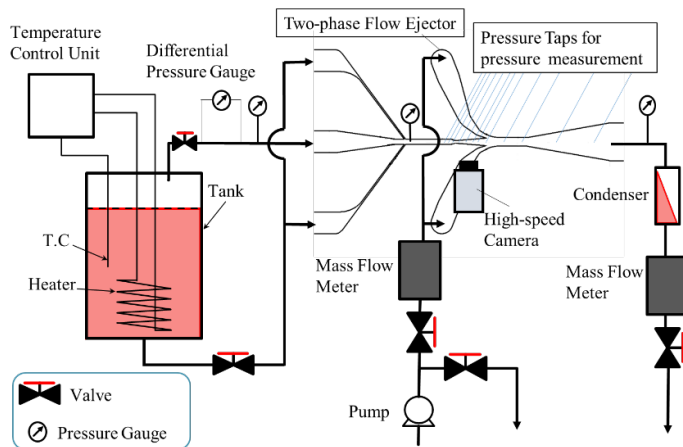


図11-2-1 実験装置概略図

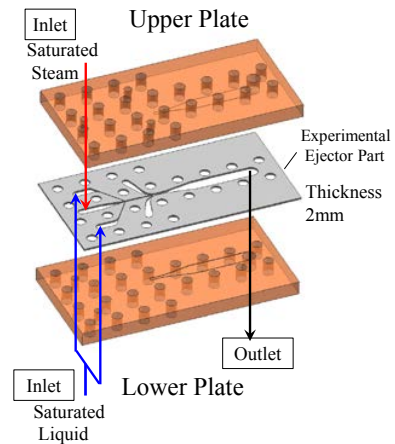


図11-2-2 エジェクタ構造

(2) エジェクタ内に発生する衝撃波の可視化

エジェクタ入口状態を、乾き度 X_n を 0.3 と 0.6 に設定した場合のエジェクタ出口背圧の変化によるエジェクタ内の圧力変動を図 11-2-3 に示す。図 11-2-3 では、ノズルから混合部にかけて圧力回復が見られる。特に乾き度 0.6 においては、背圧の増大に伴い昇圧量が増えており、また昇圧開始位置がノズル入口に近づいていくことがわかる。この急激な圧力変動は、エジェクタ内で発生する二相流衝撃波によるものだと考えられるが、これを視覚的に捉えるため、ノズルと混合部に注目して高速度カメラを用いた可視化実験を行った。

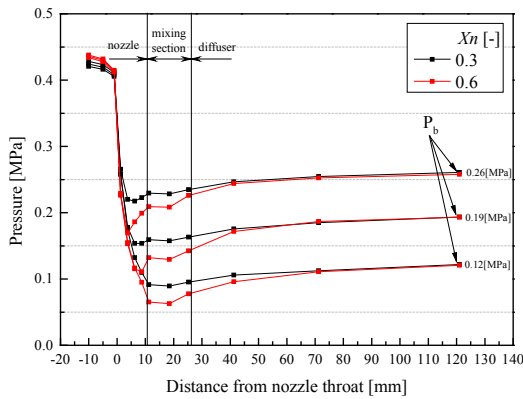


図 11-2-3 エジェクタ内静圧測定結果

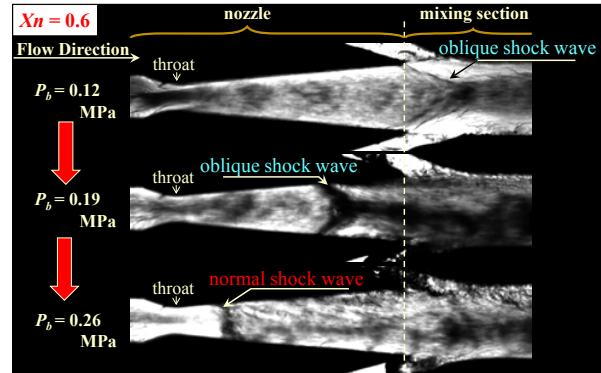


図 11-3-1 エジェクタ内で発生する衝撃波

1 1 - 3 実験結果

乾き度 0.6 においてエジェクタ内を高速度カメラで撮影した結果を図 13-3-1 に示す。背圧を 0.12[MPa], 0.19[MPa], 0.26[MPa] と上昇させて撮影を行った。まず背圧 0.12[MPa] では、混合部に斜め衝撃波が発生していることが分かる。次に、背圧を上昇させた 0.19[MPa] では混合部にいた斜め衝撃波がノズル内に侵入しており、さらに上昇させた 0.26[MPa] ではノズルのど部付近まで衝撃波が迫って来ていることが確認できる。また背圧を上昇させた背圧 0.26[MPa] のとき、衝撃波は斜め衝撃波から垂直衝撃波に形状変化を起こしていることが明らかとなった。

1 1 - 4 結論

水冷媒を用いた二相流エジェクタ内で発生する二相流衝撃波の構造・特性を、静圧測定と高速度カメラによる可視化によって調べ以下の知見を得た。

1. 乾き度を 0.6 に固定してエジェクタ背圧を振った場合、ノズルから混合部にかけての昇圧開始位置の変動は、可視化実験から判明した衝撃波の発生位置と重なっていた。この結果より、二相流エジェクタ内で発生する二相流衝撃波がエジェクタの圧力回復に影響を及ぼすことが分かった。
2. 背圧の上昇に伴ってノズル内に侵入する衝撃波は、ノズル出口では斜め衝撃波の形態をとり、ノズルのど部に近づくにつれて垂直衝撃波へと変化していくことを確認した。

参考文献

- 1) H.Yamanaka and M.Nakagawa, "Two-phase Flow Ejector as Water Refrigerant by using Waste Heat", Journal of Physics Conference Series, 433(012018), pp.1-12,(2012)