

Date of Submission:

平成 28年 1月 15日

Department 機械工学専攻	Student ID Number 学籍番号	第 093115 号	Supervisors 指導教員	柳田 秀記 北村 健三 中川 勝文
Applicant's name 氏名	川村 洋介			

Abstract

論文内容の要旨 (博士)

Title of Thesis 博士学位論文名	二相流エジェクタ混合部に発生する衝撃波・膨張波に関する基礎的研究 (Fundamental Study on Shock Waves and Expansion Waves in Mixing Section of Two-phase Flow Ejector)
----------------------------	---

(Approx. 800 words)

(要旨 1,200 字程度)

冷凍サイクルの効率を改善するために用いられる二相流エジェクタにおいて、ノズル出口に発生する衝撃波や膨張波はエジェクタの圧力回復に大きな影響を与える。しかし、一般的なエジェクタの混合部流れは駆動流が超音速二相流、吸引流が亜音速気相流であり、これら超音速場と亜音速場が共存して流れる場に生じる衝撃波や膨張波などの超音速挙動は極めて複雑である。本研究ではこの現象を基礎的に解明するために、異なる音速を持つ流れが共存する場に生じる衝撃波・膨張波に注目し、気液相間の運動量・熱・物質の各輸送現象を考慮した解析からその流動特性を調べた。また、炭酸ガス冷媒を用いた実験から斜め衝撃波・膨張波の測定を行ない、解析と比較した。

解析的な研究を行ない、領域中を流れる二相流及び気相流がともに超音速状態となる条件で相間の緩和現象を支配する緩和時間や気相流の厚さに関係なく発生起点となる下部壁面の転向点から衝撃波・膨張波が形成された。これより、本解析で衝撃波や膨張波などの超音速挙動を正確に予測できていることが明らかとなった。一方、気相流が亜音速、二相流が緩和過程により超音速から亜音速と変化する入口条件で気液相間の緩和過程を平衡と凍結の中間の状態とすることによって単相流では形成できない衝撃波・膨張波が定在することが明らかとなった。これは相間の緩和過程を中間状態とすることによって気相流中の転向点よりも上流側に擬似的なディフューザ・先細ノズル効果が形成できたためであると考えられる。また、熱緩和現象及び相変化を考慮した解析では、熱緩和時間による影響が運動量緩和時間の変化に伴う影響に比べて小さいことが明らかとなった。これは熱緩和現象を考慮した二相流の音速の関係において、運動量緩和現象よりも熱緩和現象の変化による影響の方が小さいためだと考えられる。さらに、解析結果から相間の緩和現象と計算領域長に依存する気相厚さの間には相似的な関係が成り立つことが明らかとなった。これらの解析結果から二相流と気相流のような音速の異なる共存流れ場中に生じる衝撃波や膨張波の特性が解明された。

実験的な研究を行ない、下部壁面からノズル中央、上部壁面と測定点が離れるにつれて流れ方向に対する昇圧・減圧の遅延が生じていたことから、水平面から傾いた等圧面をもつ斜め衝撃波及び膨張波が発生していることが明らかとなった。また、相変化を考慮した解析との比較結果から、本実験系で測定された衝撃波・膨張波は、代表長さ $L = 2.5[\text{mm}]$ としたスケール中における $d_p = 3 [\mu\text{m}]$ 前後の液滴の振る舞いによる現象に類似していることが明らかとなった。これらの結果より、本研究で行なった解析から得られる圧力分布が実験的に正しいことが検証された。

本論文の研究成果によって、エジェクタ混合部流れのような異なる音速をもつ流れが共存する場において発生する衝撃波・膨張波の基本的特性が明らかとなった。これらの研究成果は、今後、混合部にて二相流衝撃波を利用して更なる圧力回復を得る新たな二相流エジェクタの設計の足掛かりにすることができると考えられる。

Date of Submission:

平成 28 年 1 月 15 日

Department 機械工学専攻	Student ID Number 学籍番号	第 093115 号	Supervisors 指導教員	柳田 秀記 北村 健三 中川 勝文
Applicant's name 氏名	川村 洋介			

Abstract**論文内容の要旨 (博士)**

Title of Thesis 博士学位論文名	二相流エジェクタ混合部に発生する衝撃波・膨張波に関する基礎的研究 (Fundamental Study on Shock Waves and Expansion Waves in Mixing Section of Two-phase Flow Ejector)
----------------------------	---

(Approx. 800 words)

(要旨 1,200 字程度)

To improve the efficiency of the refrigeration cycle in two-phase flow ejectors, the shock and the expansion waves at the nozzle exit greatly affect the pressure recovery of the ejector and need to be understood. In the mixing section of the ejector, the suction flow of the subsonic single-phase gas refrigerant flows through the outside of the driving flow of the supersonic two-phase refrigerant. Within these flow fields, shock and expansion waves that affect the performance of the ejector can occur; therefore, such effects must be taken into account in the design of the ejector system. To clarify these phenomena, the flow characteristics were analyzed with respect to the gas-liquid phase transfer of momentum, heat, and mass while considering the shock and expansion waves with a wide range of sound velocities in the mixed flow field. In addition, the oblique shock and expansion waves were experimentally measured using a carbon dioxide refrigerant, following which they were compared with the analytical results.

The analytical study confirmed that in flow fields in which both the two-phase and the gas-phase flows are in supersonic states, shock and expansion waves do not depend on the relaxation time or the gas-phase thickness and will constantly form at the deflection point on the inclined wall. The analysis accurately predicted the supersonic behavior of the shock and expansion waves. In contrast, under conditions that flow fields involving a supersonic two-phase flow and a subsonic gas-phase flow, by assuming the momentum relaxation phenomenon is between equilibrium and frozen states, the shock and expansion wave are not to generally occur in the single gas phase flow, and this enables the gas-phase flow of this analytical study to exist. For this reason, it is thought that this is because the pseudo-diffuser and convergent nozzle effect induced in the upstream side of the deflection point if an intermediate state is assumed for the relaxation phenomenon. In addition, by considering the thermal relaxation and phase transition, it became clear that the effect on the thermal relaxation time was smaller than that on the momentum relaxation time. This is attributed to the smaller effect of the change in thermal relaxation compared to that of the change in the momentum relaxation in terms of the sound velocity of the two-phase flow. Furthermore, there is a relationship between the relaxation among phases and the gas-phase thickness, which depends on the length of the calculation area. The analytical results clarified the characteristics of the shock wave and the expansion wave in the mixed flow field with different sound velocities between, for example, the two-phase flow and the gas flow.

In the experiments, an oblique shock wave with a constant-pressure surface inclined from the horizontal plane and an expansion wave were produced, as evidenced by the delay in the pressure increase and decrease in the flow direction with increasing distance between the measurement points, including the nozzle center and the upper wall surface and the lower wall surface. In addition, the comparison with the model considering the phase transition

showed that the experimentally measured shock and expansion waves behaved similar to droplets of $d_p \approx 3$ [μm] within the scale of the typical length $L = 2.5$ [mm]. The experimental results thus confirmed the pressure distribution obtained by the analysis.

The results of this paper clarified the basic properties of the shock and expansion waves generated in flow fields with different speeds of sound, e.g., in the mixing section of an ejector. The results will be used to design a two-phase ejector for pressure recovery using two shock waves in the mixing section.