衝撃波を含む遷音速流れ場に及ぼす非均一凝縮の影響

Effect of Heterogeneous Condensation on the Transonic Flow fields

○正 松尾 繁 (佐大・理工) 正 瀬戸口俊明 (佐大・理工) 正 田中 征将 (佐大・院)

Shigeru Matsuo, Saga University, 1 Honjo-machi, Saga-shi, Saga 840-8502, Japan
Toshiaki Setoguchi, Saga University, 1 Honjo-machi, Saga-shi, Saga 840-8502, Japan
Masanori Tanaka, Saga University, 1 Honjo-machi, Saga-shi, Saga 840-8502, Japan

Key Words: Compressible Flow, Heterogeneous Condensation, Shock Wave, Simulation

1. まえがき

一様流中に置かれた翼面上では局所的に超音速となり衝撃波を伴う遷音速流れ場となっている。これまでの研究では、衝撃波の上流側で非平衡凝縮(均一凝縮)を発生させることにより、衝撃波の強さを軽減できることがわかっている⁽¹⁾。

本研究は、パンプモデル上で局所的に発生する非定常の衝撃波を伴う遷音速流れ場に対し、非均一凝縮⁽²⁾が流れ場の特性に及ぼす影響を数値的に調べることを目的とする。

2. 数値計算法

本解析において用いた基礎方程式は、連続の式、二次元圧縮性 Navier-Stokes 方程式、エネルギー式、および液相の質量比の増加割合を示す式である。均一凝縮と非均一凝縮による液相の質量比はそれぞれ g_{hom} と g_{het} で与えられ、流れ場における液相の質量比の総量 g_{total} は、これらの和で与えられる。計算は、Roe の近似 Riemann 解法を応用した空間三次精度 MUSCL 型有限差分 TVD スキームを適用して行った。また、粘性項は二次精度中心差分で評価した。また、乱流モデルには、Baldwin-Lomax モデルを使用した。

パンプモデルの曲率半径 R^* と翼弦長 L は、それぞれ 100 mm と 56 mm である(図1)。使用した格子数は 250×60 である。作動気体には、大気圧状態の湿り空気を用いた。初期過飽和度 S_{01} は 0.4 とした。空気中に含まれる固体微粒子の初期数密度 $n_{het,01}$ は $1.0 \times 10^{11} \text{ m}^{-3}$ 、 $5.0 \times 10^{12} \text{ m}^{-3}$ 、および $1.0 \times 10^{14} \text{ m}^{-3}$ とした。固体微粒子の半径は $1.0 \times 10^{-8} \text{ m}$ とした。よどみ室圧力 p_{01} と温度 T_{01} は、それぞれ 102 kPa と 298 K とした。壁面境界条件として、滑りなし、等圧、および断熱条件を用いた。

3. 結果と考察

$S_{01} = 0$ ($n_{het,01} = 0 \text{ m}^{-3}$) の場合、パンプモデル上には非定常な衝撃波が発生し、流れ場は周期的に振動しているのがわかった。また、 $n_{het,01} = 0 \text{ m}^{-3}$ (均一凝縮)を含むすべての条件において、流れ場の振動が抑制されていることがわかった(図略)。

図2は、 $n_{het,01} = 1.0 \times 10^{11} \text{ m}^{-3}$ と $1.0 \times 10^{14} \text{ m}^{-3}$ の場合の液相の質量比 g と核生成率 I_{hom} の下壁面近傍位置における分布を示す($S_{01} = 0.4$)。図2(a)の $n_{het,01} = 1.0 \times 10^{11} \text{ m}^{-3}$ の場合、液相の質量

比は非均一凝縮によりスロート上流側から緩やかに増加していることがわかる。また、スロート下流側の g の急激な増加は均一凝縮に起因している。一方、図2(b)の $n_{het,01} = 1.0 \times 10^{14} \text{ m}^{-3}$ の場合、液相の質量比は流れ場全体に分布しており、大部分が非均一凝縮によるものであることがわかる。

本計算条件において、 $0 < y/L < 0.5H$ ($x/L = 0.6$) の区間における均一凝縮と非均一凝縮の場合の全圧損失の積分値を、Dry air ($n_{het,01} = 0 \text{ m}^{-3}$) の場合の全圧損失の平均値と比較した。その結果、全圧損失が最も小さくなるのは、 $n_{het,01} = 5.0 \times 10^{12} \text{ m}^{-3}$ の場合であることがわかった(図略)。これは、流れ場の全圧損失を最小にするための適切な $n_{het,01}$ が存在することを意味している。

4. まとめ

本研究の結果として、均一凝縮や非均一凝縮に関係なく流れ場の振動を抑制できることがわかった。また、流れ場の全圧損失を最小にする初期数密度が存在することがわかった。

Fig.2 Distributions of condensation properties

引用文献

- (1) Matsuo, S., et al., Procs. of Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, 2001, 1841-1846.
- (2) Kotake, S. and Glass, I.L., UTIAS Report, No. 207, 1976.

Fig.1 Computational grid (Unit : mm)