液体窒素の沸騰を利用したノズル噴流の加速性能向上に関する研究

Study on Improvement Acceleration Performance of Jet from Nozzle
by use of Boiling of Liquid Nitrogen

○ 宮岡 秀樹 (室工大院) 正 花岡 裕 (室工大)
正 井坂 秀治 (室工大) 原 聖一 (日本航空電子工業 (株))

Hideki MIYAOKA, Yutaka HANAOKA, Hideharu ISAKA,
Dept. of Mech. Engng., Muroran Institute of Technology, Mizumoto-cho 27-1, Muroran, Hokkaido
Seiichi HARA, Japan Aviation Electronics Ind. Ltd., 1-21-1, Dogenzaka, Shibuya-ku, Tokyo

Key Words: Liquid Nitrogen, Acceleration of Water, Two-Phase Flow, Convergent-Divergent Nozzle

1. 緒言

水中での推力を得るためには、スクリューなどの駆動装置が必要となり、機構が複雑になる。そこで、より単純に推力を得る方法として、低沸点液体が常温で液体から気体へ変化する性質に着目した。すなわち、低沸点液体の沸騰による体積膨張を利用してノズル内の水を押し出すことにより推力を得る方法である。注入媒体としては液体窒素（以下 LN_2 と称す）を用いた。

本報告では、 LN_2 の沸騰膨張を利用したノズル噴流の加速性能が、諸条件下でどのような影響を受けるか、推力測定および壁面静圧測定から検討した。

2. 実験装置および実験方法

実験装置には、2 種類の先細末広ノズル (Nozzle-A: 拡がり角 5 度, Nozzle-B: 拡がり角 8 度) を使用し、その後方に、 LN_2 と水の直接接触時間を増やし、より完全な沸騰を起こさせるために着脱可能なパラレルパイプを設置する。推力は噴流の反力を測定して用いた。実験は、水をポンプによりノズル内へ送り込み、 LN_2 をそのノズルのど部より流れ方向に注入することにより、 LN_2 が沸騰し水と窒素ガスの二成分気液二相流となり水槽内に噴出されることによって行われる。

3. 実験結果および考察

3-1. 液体窒素注入による影響 LN_2 の沸騰膨張による推力への影響を調べるために、ノズルへの供給以前から完全に気化していたと想定し空気を注入した場合に得られる推力との比較を試みた結果を Fig.1 に示す。図より LN_2 注入時の方が推力が大きかった。これは、ノズル内で LN_2 が沸騰し窒素ガスとなることにより体積が約 700 倍になり、その結果、気液二相流は加速噴流となって装置外部へ排出され大きな推力につながった。

Fig.1 Relationship between thrust and volumetric flow ratio
(Nozzle-A, injected liquid Nitrogen or Air)

3-2. ノズル形状の影響 ノズル形状の影響を調べるために、パラレルパイプ非装着で各々のノズルを使用し推力を比較した。その結果、Nozzle-A の方が推力が大きかった。ところで、Nozzle-A は全長が長いことで壁面摩擦を含め流動抵抗が大きいにも関わらず全長の短い Nozzle-B よりも推力が大きい。このことから、ノズル内では流動抵抗以外の加速性に寄与する何らかの要因が流路内にあると考えられる。そこで、ノズル内の壁面静圧測定を行った結果、Nozzle-A ではノズル出口に向かうにしたがい圧力低下する擬似的な気液二相超臨界状態の圧縮性流体の特性を示した。逆に Nozzle-B ではノズル出口に向かうにしたがい圧力回復する亜音速状態の非圧縮性流体の特性を示した。なお、円形断面における拡がり損失は、単相においては拡がり角 5 度で最小となることが知られていることから⁽¹⁾、Nozzle-A の拡がり角が適していると考えられる。したがって、ノズル形状の違いにより内部流れが変化し、結果的に Nozzle-A の方が推力が大きくなったと考えられる。

3-3. パラレルパイプの有無による影響 パラレルパイプ装着による推力への影響を調べるために、パラレルパイプ装着時と非装着時の推力を比較した。その結果、推力に大きな差はなかった。むしろ、パラレルパイプ装着時の推力がやや抑制される傾向が認められた。これは、パラレルパイプ内の沸騰気泡が噴流の流動抵抗になっていると考えられる。このことを確認するために、空気を注入した場合のパラレルパイプ装着の有無による推力の測定を行った。空気注入時でもパラレルパイプ装着の推力は低下した。空気注入時は沸騰などの急激な相変化は起こらないので、この推力低下は、沸騰区間として設けたパラレルパイプが噴流に対する流動抵抗になっていると考えられる。また、パラレルパイプ非装着の場合、 LN_2 注入時に流量比を増大させていくと推力のばらつきが大きくなった。これは、 LN_2 が十分な沸騰を起こす前に水槽へ排出されたためと考えられる。したがって、パラレルパイプは十分な沸騰を起こすための沸騰区間として機能し、推力を安定に得るために効果があることがいえる。

4. 結論

本実験の結果、 LN_2 注入による沸騰・膨張の効果として噴流の加速性がみられた。また、ノズルの拡がり角の違いによりノズル内部の流れは変化し、推力に大きな影響をおよぼすことが明らかとなった。さらに、沸騰区間として設けたパラレルパイプは LN_2 の沸騰を十分に起こさせ、推力を安定的に得る効果があった。

参考文献(1)中山泰喜, 流体の力学, 養賢堂, (1994), pp111.

(2)原聖一, 機講論, 40 No.309 (2000-9), pp112-113.