

# JAXA 極低温キャビテーションタンネル

## 1. はじめに

ロケットエンジン用ターボポンプの入り口に設置されているインデューサでは、大規模なキャビテーションが発生しており、そのキャビテーションに起因する不安定現象を抑制することが最重要技術課題の一つとなっている。極低温流体である推進剤（液体水素、液体酸素）に発生するキャビテーションでは、気泡の成長を抑制する熱力学的効果が非常に強く作用し、水試験の場合に比べてインデューサ性能が向上し、キャビテーション不安定現象が抑制される。したがって、この好ましい熱力学的効果をキャビテーションに積極的に作用させることで、不安定現象を抑制しインデューサ性能を向上させることができると考えられる。

キャビテーションにおける熱力学的効果とは、キャビテーションの気泡が成長する際に蒸発潜熱を奪うため、気液界面の温度が低下して飽和蒸気圧が低下し、結果として気泡の成長が抑制される現象である。現在の熱力学的効果の理論では、単一気泡の成長・崩壊とその熱収支を基にモデル化しているものが多い。しかしながら、インデューサに発生するようなクラウドキャビテーションは微細な気泡の集合体（気泡群）であり、その熱力学的効果を定量的に把握するためには、気泡の相互作用も考慮した新たなモデルを構築する必要がある。そこで（独）宇宙航空研究開発機構（JAXA）では、気泡群に作用する熱力学的効果を定量的に把握し、新たな物理モデルを構築するための研究を進めている。

## 2. 極低温キャビテーションタンネル

JAXA では角田宇宙センター極低温インデューサ試験施設に、液体窒素を用いてキャビテーション試験を行うことのできる極低温キャビテーションタンネルを新設した。

作動流体である液体窒素は最大 37L/S で試験部を流れ、試験部に設置した供試体（オリフィス、ベンチュリ、翼型）にキャビテーションが発生する。

キャビテーションの発生しやすさの指標であるキャビテーション数を液体窒素の供給圧力と流量調節弁の開度で調節し、発生するキャビテーションの規模を調節する。また、熱力学的効果の程度は作動流体の温度（物性）と流速（時間）に依存するため、液体窒素を昇温・降温することで試験部における温度および流速をパラメータとした試験を行い、キャビテーションの熱力学的効果を多面的に解析する。

## 3. 極低温キャビテーションにおける熱力学的効果

キャビテーションにおける熱力学的効果の程度として、オリフィス出口に発生するキャビテーション流れの温度降下量の計測を行った。図 1 に供試体を示す。作動流体は液体窒素で上流温度は 79K である。図 2 にオリフィス上流の一流温度に対するオリフィス出口での温度降下量を示す。縦軸は温度降下量  $\Delta T$ 、横軸は熱力学的パラメータ  $\Sigma^*$

$$\left( = -\frac{L^2}{c_{p,l} T \sqrt{a_l}} \left( \frac{\rho_v}{\rho_l} \right)^2 \sqrt{\frac{D}{U^3}} \right)$$

である。（ここで、 $L$  は蒸発潜熱、 $c_{p,l}$  は液体の定圧比熱、 $T$  は温度、 $a_l$  は液体の温度伝導率、 $\rho_v$ 、 $\rho_l$  はそれぞれ気体、液体の密度、 $D$  は代表長さ、 $U$  は代表流速である。） $\Sigma^*$  は流体の熱力学的効果強さを表す無次元量であり、 $\Sigma^*$  が大きいほど熱力学的効果が強く作用する。極低温流体では水に比べて  $\Sigma^*$  が非常に大きく、また、流体の温度が高いほど、流速が低いほど  $\Sigma^*$  は大きくなる。

図 2 では供給タンクの圧力が低い場合（Test 1, ○）の試験結果と高い場合（Test 2, □）の結果を示している。いずれの場合でも、キャビテーション数  $\sigma$  が小さくなるにつれて  $\Delta T$  が増大しており、キャビテーションが成長するとともに温度降下量が増大しているが、 $\sigma$  が等しい場合でも Test 1 のほうが Test 2 よりも  $\Delta T$  が大きくなっている。すなわち、Test 1 では流速が低いためキャビテーションの熱力学的効果がより強く作用し、 $\Delta T$  が大き

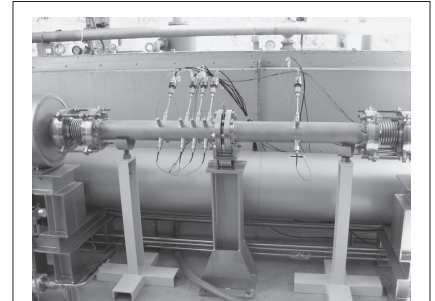


図 1 極低温キャビテーションタンネルの供試部

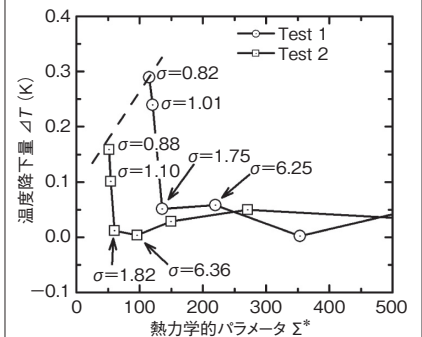


図 2 液体窒素キャビテーションにおける温度降下量  $\Delta T$  に対する  $\Sigma^*$  の影響

くなったものと考えられる。

## 4. まとめ

本稿では、キャビテーションの熱力学的効果の程度を定量的に明らかにすることを目的に新設した、JAXA 極低温キャビテーションタンネルを紹介した。今後は、実際の極低温キャビテーションの様子を可視化観察し、キャビテーションの様相と熱力学的効果の程度の相関性を定量的に明らかにしていく予定である。

（原稿受付 2008 年 9 月 29 日）

〔新井山一樹、吉田義樹（独）宇宙航空研究開発機構〕

### ●文 献

- (1) 新井山一樹・ほか、JAXA 極低温キャビテーションタンネルの紹介、日本機械学会 2008 年度年次大会講演論文集、08-1 (2008-8)、81-82。
- (2) 新井山一樹・ほか、JAXA 極低温キャビテーションタンネルの設備機能確認試験結果、第 60 回ターボ機械協会大阪講演会講演論文集、(2008-9)、162-167。
- (3) 新井山一樹・ほか、極低温オリフィスに発生するキャビテーションに作用する熱力学的効果、キャビテーションに関するシンポジウム（第 14 回）講演論文集（CDROM）、(2009-3)。