

# Hydrothermal Wave 不安定性と気液界面熱伝達に関する地上実験

横浜国立大学 西野耕一、由良嘉紀

東京理科大学 河村洋、上野一郎

宇宙航空研究開発機構 松本聡

## Ground Experiment on Hydrothermal Wave Instability and Interfacial Heat Transfer

Koichi Nishino, Yoshinori Yura, Yokohama National University\*

Hiroshi Kawamura, Ichiro Ueno, Tokyo University of Science

Satoshi Matsumoto, Japan Aerospace Exploration Agency

\* Yokohama National University, 79-5 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 340-8501

E-mail: nish@ynu.ac.jp

**Abstract:** The activity of the working group on “Hydrothermal Wave Instability and Interfacial Heat Transfer” is reported in this paper. Some recent results obtained from ground experiments are presented to show the remarkable effect of interfacial heat transfer on hydrothermal wave instability. The outline of a proposal for space experiment made from Japan-Europe collaboration is mentioned.

**Key words:** Hydrothermal Instability, Heat Transfer, Space Experiment

### 1. はじめに

著者らは宇宙環境利用科学委員会研究班WGを構成し、Hydrothermal Wave 不安定と気液界面熱伝達に関する日欧共同宇宙実験を計画している。その活動の一環として、2007年度の「きぼう」日本実験棟船内実験室第2期利用に向けた候補テーマ募集に対して「温度差表面張力流における不安定性の界面鋭敏性と制御」を欧州研究者と共同提案した。

本稿では、この宇宙実験に向けての地上研究成果を報告するとともに、宇宙実験計画の概要を報告する。

### 2. 温度差表面張力流の不安定性と界面鋭敏性

近年の温度差表面張力流の不安定性に関する研究成果として、気相と液相との相互作用が対流不安定性に顕著な影響を与えることが指摘されている (Kamotani et al. 2003, Shevtsova et al. 2005)。そのメカニズムとして気液界面での熱移動 (熱損失) やせん断応力の役割が着目されているが (Tiwari & Nishino, 2007)、詳細は不明である。著者らは、液柱形状の温度差表面張力流において周囲気体を強制流動させることの影響を地上実験で調べた。

#### 2. 1 地上実験の方法と条件

液注は直径 5mm の上下ディスクの間に懸架される。流体は 5cSt のシリコンオイル (信越化学株式会社製 KF96L-5cSt) である。上部ディスクは加熱され、下部ディスクは冷却される。液注周囲気体の流動を制御するため、液柱は内径 10mm の同軸中空円筒 (convection shield、以下 CS) で覆われている。

CS は透明アクリル製であり、内部の観察が可能である。Fig.1 に示すように、CS の上下面を密閉するために内部流路を設けたアクリル製ブロック (Connecting Block, CB) を設置した。この CB の上部構造に真空ポンプを接続することによって CS 内部に鉛直上向きの対流を発生させることができる。逆に、CB 下部構造に接続することによって鉛直下向きの対流を発生させることができる。

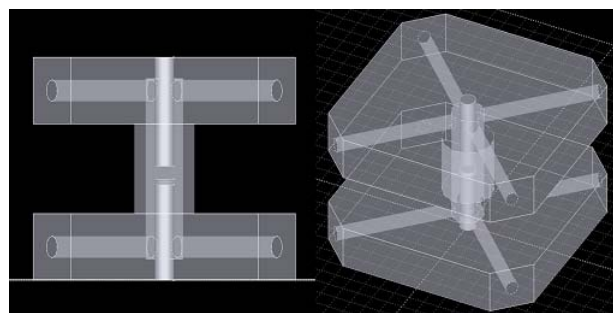


Fig.1 Convection shield の構造

Table 1 Experimental conditions

Fluid	5cSt silicone oil (Pr=68@25°C)
Aspect ratio (L/D)	0.5
Volume ratio (VR=V/V <sub>0</sub> )	0.8, 0.85, 0.9, 0.95, 1.0, 1.05, 1.1, 1.15, 1.2

上述の実験装置を用いて、Table 1 が示す実験条件で振動流遷移温度を測定した。ここで、アスペクト

比は上下ディスク間距離  $L$  をディスク直径  $D$  で除したものであり、体積比は液柱体積  $V$  をディスク間体積  $V_0$  で除したものである。周囲気体流動の条件として、強制対流なし、鉛直上向き強制対流あり、鉛直下向き強制対流ありの3通りに対して、それぞれ振動流遷移温度を測定した。

## 2. 2 地上実験結果

Fig.2 は液柱内部流動と周囲気体流動の同時可視化の様子である。ディスク間温度差が臨海値を越えると、表面張力に駆動される液柱内部流動が周期的に変動する。液柱周囲に強制対流を与えることによって振動流がどのように変化するかを観察した。



Fig.2 Visualization of thermocapillary convection and surrounding air motion

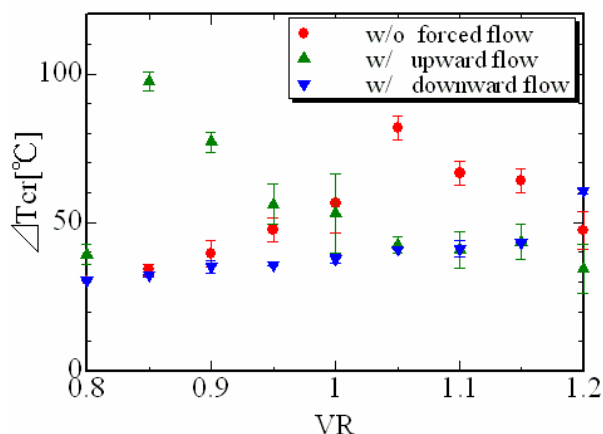


Fig. 3  $\Delta T_{cr}$  vs.  $VR$  and the effect of surrounding air flow

Fig3 は、体積比  $VR$  に対する振動流遷移温度  $\Delta T_{cr}$  の実験結果を示したもので、液柱周囲の強制対流をパラメータとしたものである。

強制対流なしの条件では、 $\Delta T_{cr}$  は  $VR$  の増加とともに大きくなり、 $VR=1.05$  でピークを示し、 $VR$  がそれより大きくなると  $\Delta T_{cr}$  は減少する。従来の CS なしの条件では、 $VR=0.7\sim 0.8$  で  $\Delta T_{cr}$  が極大値を示すことから、CS の設置によって液柱周囲流動が変化し、それが  $\Delta T_{cr}$  に影響を与えたものと考えられる。

CS 内に鉛直上向きの強制対流を与えた場合は、 $VR=0.85$  で  $\Delta T_{cr}$  がピークを示す。一方、CS 内に鉛直下向きの強制対流を与えた場合は、 $VR$  の増加とともに  $\Delta T_{cr}$  は単調に増加する。このように、液柱周囲気体の流動条件と液柱体積比条件によって、振動流遷移温度が大きく変化することが明らかになった。

## 3. 宇宙実験の日欧共同提案

上述の温度差表面張力流の不安定性と界面鋭敏性の問題は欧州研究者も着目しており、欧州側では次の ESA AO2004 への提案に至っている。

題目：Influence of surrounding thermal and kinematic conditions on the stability of flow in liquid bridges

代表者：V. Shevtsova (Universite Libre de Bruxelles)

著者らの一部は、2006年10月に ESA ESTEC (オランダ) で開催された Topical Team 会合に出席し、日欧共同宇宙実験について欧州研究者グループと協議した。そこでの合意を踏まえて、2007年度の「きぼう」日本実験棟船内実験室第2期利用に向けた候補テーマ募集に対して「温度差表面張力流における不安定性の界面鋭敏性と制御」を欧州研究者と共同提案した。その提案は次の疑問に答える実験データを取得することを目的としている。

(1) 流体不安定性が界面近傍の速度・温度境界層に起因するならば大直径液柱でも界面鋭敏性は存在する。

(2) そうでなければ界面鋭敏性は液柱径の増加と共に鈍くなる。

この宇宙実験から次の成果が期待される。

(1) 表面張力対流における周囲気体の影響の重要性を宇宙実験により明らかにすることによって、表面張力流とその不安定性の理解を深める。

(2) 表面張力対流が存在する気液界面現象について軽視されがちな気相側の影響を指摘する。

(3) 液相と気相を同時に考慮する連成数値解析の開発・検証へ寄与する。

## 参考文献

- Kamotani, Y., Wang, L., Hatta, S., Wang, A., and Yoda, S., Int. Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 46, Issue 17, 3211 (2003).
- Shevtsova V., Mialdun A., Mojahed M., Int. Journal of Non-equilibrium Thermodynamics, Volume 30, pp. 261-281 (2005)
- Tiwari, S., Nishino, K., J. Crystal Growth, 300, 486-496 (2007)