

## Hydrothermal Wave 不安定性と気液界面熱伝達に関する日欧共同宇宙実験

横浜国大 西野耕一、東京理科大 河村洋、上野一郎、JAXA 松本聡

### Japan-Europe Joint Space Experiment on Hydrothermal Wave Instability and Interfacial Heat Transfer

*Koichi Nishino*

Yokohama National University, 79-5 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240-8501

E-Mail: nish@ynu.ac.jp

*Hiroshi Kawamura, Ichiro Ueno*

Tokyo University of Science

*Satoshi Matsumoto*

JAXA

The authors are planning a Japan-Europe joint space experiment on hydrothermal wave instability and interfacial heat transfer as a research activity in a space-utilization committee working group. This study aims at clarifying the effect of the heat transfer at liquid-air interface on the thermocapillary convection. The study has been proposed in ESA AO2004 and is considered as a candidate of future space experiment through the scientific evaluation in 2005. This report describes the expected outcome of the space experiment along with the results being accumulated in the recent ground experiments.

*Key words;* Space Utilization, Space Experiment, Hydrothermal Wave Instability

著者らは、宇宙環境利用科学委員会研究班WGにおいて、Hydrothermal Wave 不安定性と気液界面熱伝達に関する日欧共同宇宙実験を立案中である。本実験は、表面張力流の不安定性に与える気液界面熱伝達の影響を調べるもので、ESA AO2004 における科学的意義の評価を踏まえて、実験実現への検討が進められている。本稿では、地上実験結果とともに宇宙実験で期待される成果や準備状況について報告する。

Fig.1 は液柱内の表面張力流の模式図である。温度差を有するロッド間に形成された液体カラム(液柱)には、気液界面温度勾配に起因する表面張力差が生じ、通常は高温側から低温側に向かう表面張力流が発生する。ロッド間温度差が増大して臨界値を越えると、表面張力流は時間的に変動する振動流へと遷移する。振動状態では、表面温度変動と流体運動との連成振動(hydrothermal wave)が発生し、変動成分が液柱周方向および軸方向に伝播する(Fig.2)。

そのような連成振動の発現条件は、温度差駆動表面張力流(thermocapillary convection)の不安定性を理解する出発点であり、これまで多くの研究がなされてきた。その結果、発現条件として、作動流体の物性値、ロッド間温度差、液柱アスペクト比、液柱形状といった要因が明らかにされてきた。

近年の実験的研究によって、上述の要因に加えて、気液界面における周囲雰囲気条件が不安定性に顕著な影響を及ぼすことが明らかにされつつある。ここで、周囲雰囲気条件とは、(1)周囲気体の流

れ、(2)周囲気体の温度、(3)周囲容器の形状などである。これらの新たな要因は、不安定性の発現条件が地上と微小重力とで有意に異なるという事実を解き明かす可能性がある。

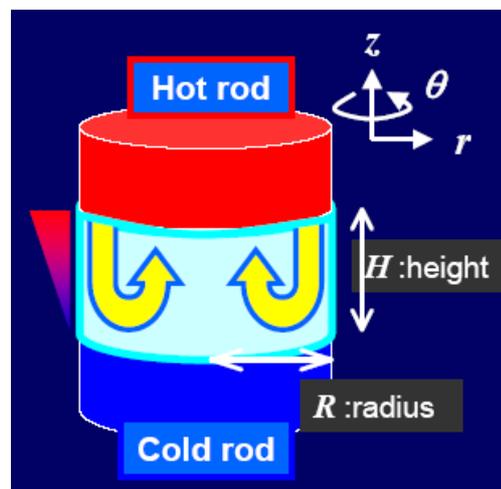


Fig.1 Thermocapillary convection in a liquid bridge

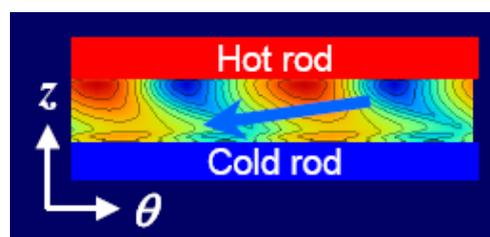


Fig.2 Hydrothermal wave instability in a liquid bridge

このような可能性について、日欧の複数の研究者が同時に着目し、ESA AO2004(Life and Physical Sciences and Life and Physical Sciences and Applied Research Projects 2004)への宇宙実験提案へと具体化した。本提案は「Thermocapillary Oscillatory Motion and Interfacial Heat Exchange」(研究代表者 V. Shevtova)としてまとめられ、欧州側研究者 6 名、日本側研究者 3 名による共同提案として科学的評価を通過し、ISS「きぼう」に搭載される FPEF(Fluid Physics Experiment Facility)を用いた宇宙実験として具体的検討が進められている。

当該宇宙実験提案において筆者らは共同研究者として参画し、宇宙環境利用科学委員会研究班WGを構成して地上実験や数値解析を開始している。

Fig.3 は周囲気体の流れを抑制するために「仕切り板(partition disk)」設置したケースである。地上では、周囲気体には加熱・冷却に伴う浮力対流が存在し、表面張力流に誘起される周囲気体流動との連成が生じる。仕切り板を設置することによって浮力対流が抑制され、不安定性の発現に顕著な影響が見られる。Fig.4 はその影響を実験的に調べた結果で、液柱長さ(L)の異なる全ての条件において、仕切り板を設置することによって臨界値が上昇して不安定性が抑制されることがわかる。また、別の実験によって、周囲気体の温度を上昇させると不安定性が



Fig.3 Partition disks to suppress the surrounding flow

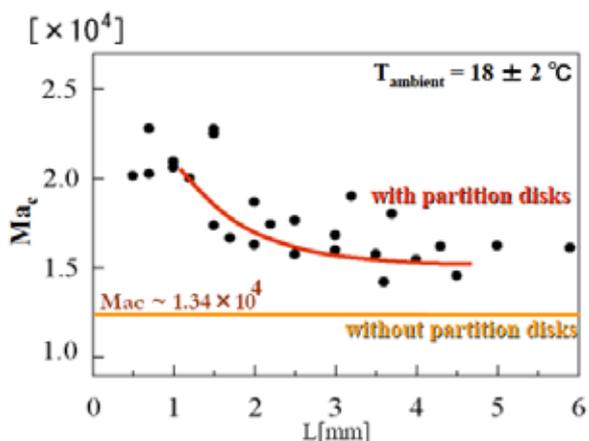


Fig.4 Effect of PDs on the HTW instability

抑制されることが示されている。

これらの周囲気体の影響は、気液界面における熱伝達の変化を介して、液柱内部の温度場・速度場を変化させるためと推定される。そのことを調べるため、液柱内の表面張力流と周囲気体の流れとの連成数値解析を行っている。Fig.5 は数値解析モデルであり、仕切り板の有無と重力の有無とで定義される4 ケースについて、気液界面熱伝達を定量的に予測した。その結果、重力下で仕切り板を設置しない場合(1g\_noPB)は浮力対流によって熱伝達率が增大するのに対して、仕切り板を設置すると熱伝達率が低下し、微小重力下における値とほぼ一致する。

本稿では、著者らが進めている地上実験ならびに数値解析結果の一部を示し、気液界面熱伝達が不安定性の発現に大きな影響を与えることを報告した。日欧共同提案の宇宙実験では、浮力対流が消失するという微小重力環境を生かすことによって、気液界面熱伝達が hydrothermal wave 不安定性に与える影響を明らかにする予定である。

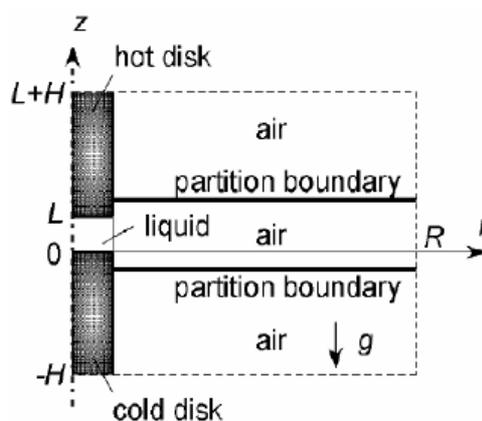


Fig.5 Computational model for the effect of PDs

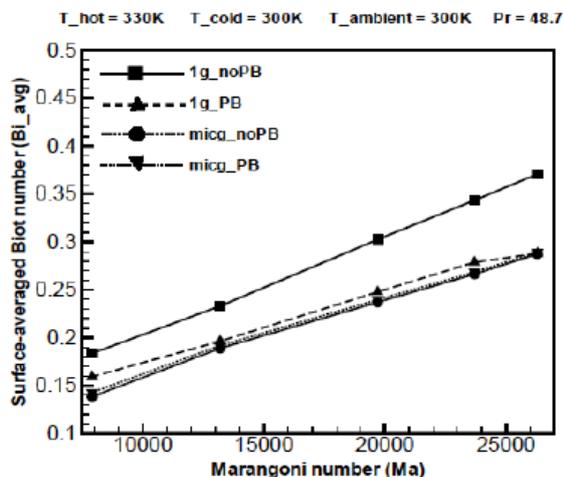


Fig.6 Effect of PDs on the interfacial heat transfer