

平成18年4月23日

平成17年度「Hydrothermal Wave 不安定と気液界面熱伝達」活動報告書

横浜国立大学 西野 耕一

1. 構成メンバ

氏 名	所属
西野 耕一	横浜国立大学
河村 洋	東京理科大学
上野 一郎	東京理科大学
松本 聡	宇宙航空研究開発機構

2. 本年度 WG 会合開催実績

(1) 第1回：平成18年8月31日(木)～9月2日(土) 東京理科大学理工学部野田キャンパスにて2泊3日で開催し、WGの活動方針・予定について意見交換し、外国出張を含めた活動予定の詳細を定めた。同時に、研究者(但し、松本を除く)の研究進捗状況について議論した。

(2) 第2回：平成18年10月6日(金)～7日(土) 筑波宇宙センターにて開催し、ESA主催のInternational Topical Team会合への参加と欧州研究者との共同研究ならびに共同軌道実験提案について相談した。

(3) 第3回：平成18年10月24日(火)～25日(水) The European Space Research and Technology Centre (ESTEC, Noodwijk, Holland)で開催されたESA Topical Team Meetingに西野と松本が参加し、日欧共同軌道実験について協議した。

(4) 第4回：平成19年3月7日(水)～8日(木) 東京にてメンバ全員出席でWG会合を開催し、本年度の研究成果、欧州出張で得られた成果、次年度の目標などを相談した。

3. 活動目的

表面張力流の Hydrothermal Wave 不安定性は気液界面熱伝達の影響を強く受けることが明らかになりつつある。この現象は、気液界面での熱伝達の変化がそこでの温度分布を変化させるためであり、表面張力流特有の現象である。地上では周囲気体の自然対流の影響に常にさらされるが、微小重力環境ではその影響が消失するため、表面張力流の不安定性出現メカニズムの解明に新しい光を当てるとともに、不安定性の能動的制御への道を拓くことにつながる研究テーマとして期待される。

本 WG では、そのような研究目的を共有する日欧の研究者グループを構成し、新しい宇宙実験の提案と実現とに向けての国際コミュニティ活動と地上基礎研究とを実施する。

既に、本研究者グループは、ESA AO2004の機会を捉えて、日欧共同によるISS微小重力実験テーマ「Thermocapillary Oscillatory Motion and Interfacial Heat Exchange」を提案し、高い評価を得た(2005年3月通知の評価結果では Microgravity relevance 82/100、Scientific merit 78/100)。

上記提案の採否は本申請書提出時点では未通知であるが、ESAの要請を受けて、共同研究を加速するための国際 Topical Teamを構成しつつある状況にある。本 WG では、欧州側研究者とのコミュニケーションを緊密化し、実験条件、手法、装置を具体化することによって、「きぼう」の流体物理実験装置(FPEF)を利用した新たな微小重力実験計画を策定することを目的とする。

4. 活動内容

4.1 国際コミュニティ活動の内容

第3回会合の成果として、表面張力差対流に関する日欧共同による軌道実験を提案することを合意し、研究目的、微小重力環境の必要性、期待される成果を具体化した。また、日本側設備である FPEF (Fluid Physics Experiment Module) を用いた軌道実験の実現性について協議し、費用、リソース制限、スケジュールなどを考慮した実験計画のアウトライン化を行った。

さらに、早急に以下の準備を日欧共同で進め、軌道実験の提案書を具体化することとした。

- ・軌道実験の最適化に向けての実験と数値解析を共同で行う
- ・乱流マランゴニ対流をモデル化する
- ・現象理解に向けた知見を蓄積する

4.2 研究活動内容

Fig.1 は液柱表面張力流の周囲気体の流



Fig.1 Partition disks to suppress the surrounding flow.

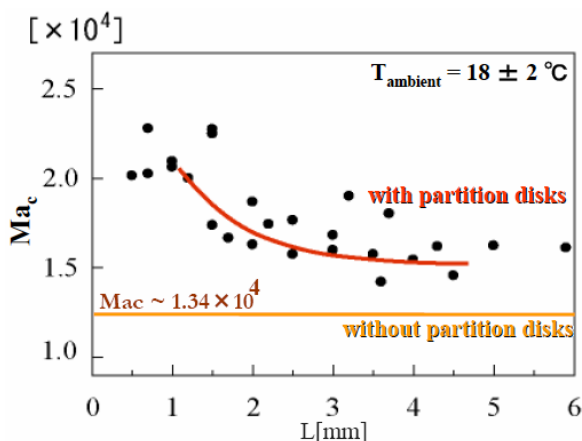


Fig.2 Effect of PDs on the HTW instability.

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.2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

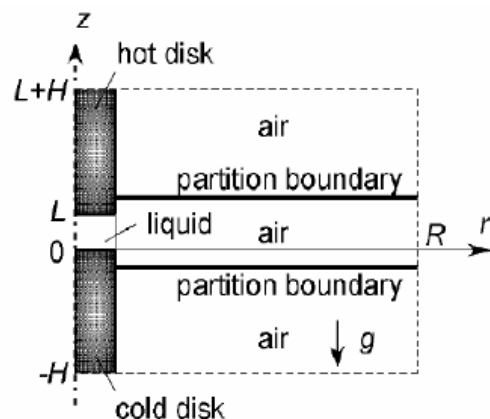


Fig.3 Computational model for the effect of PDs.

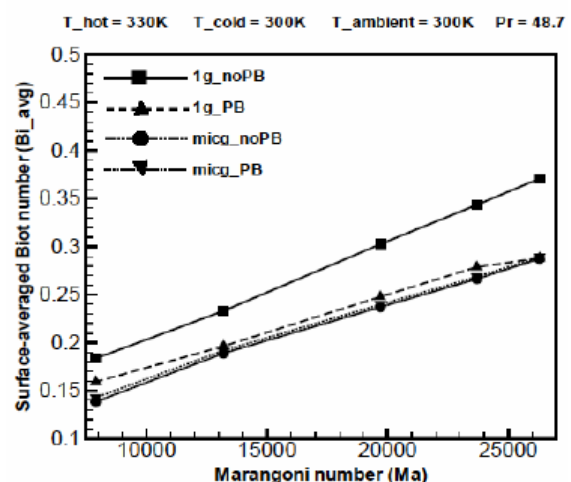


Fig.4 Effect of PDs on the interfacial heat transfer.

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.3 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。その結果を Fig.4 に示す。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増大するのに対して、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。

周囲気体流動が振動流遷移条件に与える影響を実験的に調べた。Fig.5 はそのための実験装置全体図である。液柱を囲む円

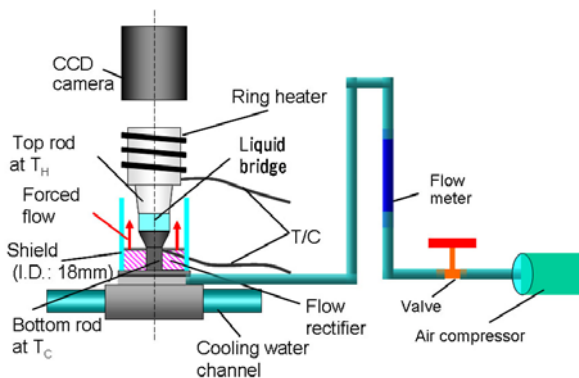


Fig.5 Experimental apparatus for the effect of ambient gas flow.

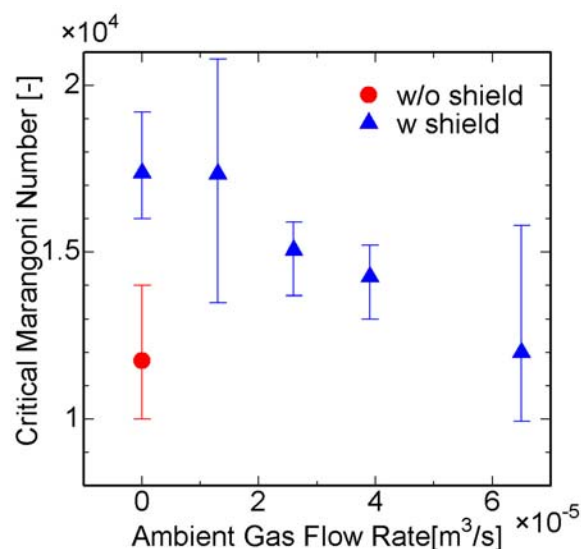


Fig.6 Critical Marangoni number vs. ambient gas flow rate

筒を設置し、その内部を液柱に沿って気流を発生させる。Fig.6 は周囲気体流量と臨界マランゴニ数の関係である。臨界マランゴニ数は円筒を設置すると増加し、周囲気体流量とともに減少することを明らかにした。

5. 成果

(1) 論文発表：以下の発表を含めて、雑誌発表 5 件、国際会議発表 5 件、国内会議発表 5 件。

S. Tiwaria & K. Nishino, 2007, Numerical study to investigate the effect of partition block and ambient air temperature on interfacial heat transfer in liquid bridges of high Prandtl number fluid, *Journal of Crystal Growth*, Vol. 300, pp. 486–496.

K. Nishino & S. Tiwari, 2007, Effect of heat loss on Marangoni convection in a liquid bridge, *Journal of the Japan Society of Microgravity Application*, Vol. 24, No. 1, pp. 54-61.

H. Kawamura, E. Tagaya & Y. Hoshino, 2006, A consideration on the relation between the oscillatory thermocapillary flow in a liquid bridge and the hydrothermal wave in a thin liquid layer, *International Journal of Heat and Mass Transfer*.

S. Tanaka, H. Kawamura, I. Ueno & D. Schwabe, 2006, Flow structure and dynamic particle accumulation in thermocapillary convection in a liquid bridge, *Physics of Fluids*.

H. Kawamura & I. Ueno, 2006, Review on thermocapillary convection in a half-zone liquid bridge with high Pr fluid: Onset of oscillatory convection, transition of flow regimes, and particle accumulation structure, *Surface tension-driven flows and applications* (Chap. 1) (Ed. Savino, R.), pp. 1-24, Research Signpost.

(2) 特許：なし

(3) 競争的資金獲得・応募状況：日本学術振興会科学研究費基盤研究(B) 研究代表者：河村洋，マイクログラビティとマイクロスケールへの応用を目指したマランゴニ対流の研究