

「きぼう」における表面張力流の宇宙実験

西野耕一 (横浜国立大学)、河村洋 (諏訪東京理科大学)、大西充 (JAXA)、上野一郎 (東京理科大学)、松本聡 (JAXA)、鈴木諒 (横浜国立大学)、川添彰、佐々木公祐 (東京理科大学)、依田真一、田中哲夫 (JAXA)

Space Experiment of Thermocapillary Convection in KIBO

Koichi Nishino (Yokohama National University), Hiroshi Kawamura (Tokyo University of Science, Suwa), Mitsuru Ohnishi (JAXA), Ichiro Ueno (Tokyo University of Science), Satoshi Matsumoto (JAXA), Ryo Suzuki (Yokohama National University), Akira Kawazoe, Kimihiro Sasaki (Tokyo University of Science), Shin-ichi Yoda, Tetsuo Tanaka (JAXA)

Abstract: Marangoni convection experiments have been carried out in the period from July 30 to August 25, 2009. This is the second series of Marangoni Experiment in Space (MEIS2), the first one (MEIS1) being carried out in the period from August 22 to December 16, 2008. MEIS2 aims at (1) determining critical temperature difference, ΔT_{cr} , for the onset of oscillatory flow for Ar up to 2.0, where Ar is the aspect ratio of the liquid bridge, (2) revealing three-dimensional flow fields in oscillatory state and (3) clarifying the characteristics of surface velocity. In this presentation, some preliminary, but important results from MEIS2 are given together with the results from MEIS1.

Key Words: Thermocapillary convection, Marangoni convection, Liquid bridge, Space Experiment

1. はじめに

「きぼう」での初の科学実験としてマランゴニ対流実験 (Marangoni Experiment in Space 1: MEIS1) が 2008 年 8 月 22 日から実施された。この実験は 10 月中旬まで実施され、PI/CI と学生 4~5 名で構成されるチームが交代で筑波宇宙センターの UOA に詰め、地上からのコマンド送信によって FPEF (Fluid Physics Experiment Facility) を操作することによって実施された。その翌年、MEIS2 が 2009 年 7 月 30 日から実施され、計 16 日間の宇宙実験が行われた。本宇宙実験は、直径 30mm の円形ディスクの間に形成されるシリコンオイル液柱 (動粘性係数 5cSt) を対象として、マランゴニ対流の振動流遷移過程を明らかにすることを目的とするものである。この流れは温度差駆動の表面張力対流 (Thermocapillary) とも呼ばれる。MEIS1 と 2 の具体的な実験目的はそれぞれ次の通りである。

[MEIS1]

- ・振動流遷移の臨界温度差を決定する

- ・振動モード構造を観察する
- ・PAS を観察する

[MEIS2]

- ・ $Ar = 0.5 \sim 2.0$ の臨界温度差を決定する
- ・3-D PTV を用いて内部流動を測定する
- ・フォトクロミック法を用いて表面流速を測定する

ここで、PAS は Particle Accumulation Structure を意味し、 Ar は液柱長さをディスク直径で除すことによって得られる液柱アスペクト比である。

本稿では、これらの宇宙実験で得られた成果の概要を述べる。

2. MEIS の成果概要

ディスク間温度差を増大させると、マランゴニ対流は非軸対称の振動流へと遷移する。そのディスク間温度差 (臨界温度差) を無次元化し、ディスク直径に対してプロットしたグラフを Fig.1 に示す。過去の微小重力実験が右上がりの傾向を示すのに対して、MEIS の結果は地上実験と同レベルの値 (~ 104)

を示す。振動流遷移まで十分に長い待ち時間を設けたためと考えられる。

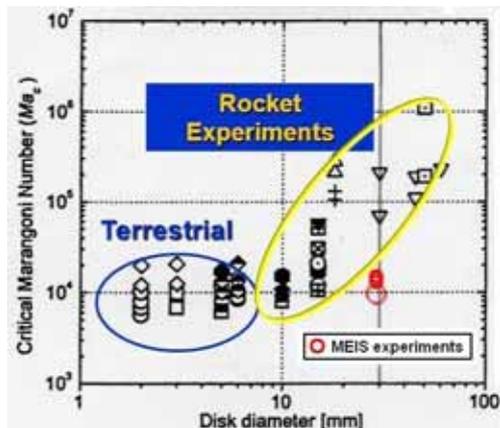


Fig. 1 Critical Marangoni number vs. disk diameter.

種々の液柱アスペクト比について、振動流の周方向モード数 m を調べた。その結果、地上実験では $Ar \times m \sim 2.0$ となるのに対して、MEISでは $Ar \times m \sim 1.5$ となることが明らかになった（図省略）。

MEIS2では $Ar = 0.5 \sim 2.0$ の広い範囲について臨界温度差を測定することに成功した。

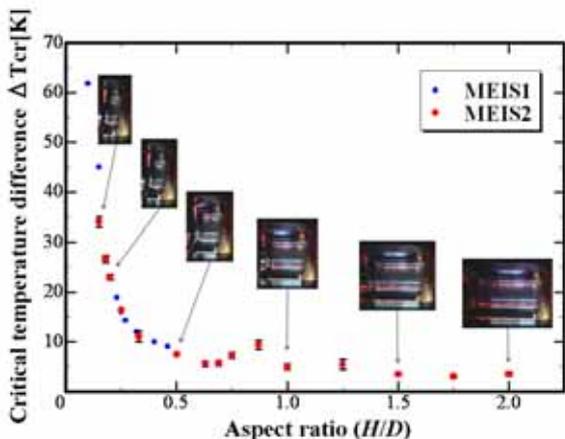


Fig.2 Critical temperature difference vs. Ar.

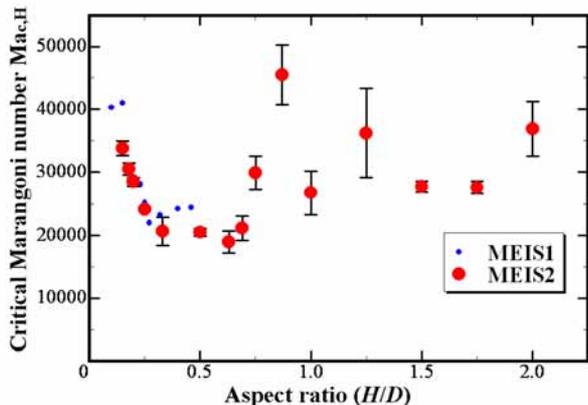


Fig.3 Critical Marangoni number vs. Ar.

Figs. 2 と 3 は、それぞれ臨界温度差と臨界マランゴニ数を Ar に対してプロットしたものである。

Fig. 4 は $Ar = 1.5$ の振動流状態における内部流動の様子を 3 次的に捉えた結果である（左が時刻 0 ~ 15s、右が 15 ~ 30s）。軸方向に流跡線が「うねり」、流動パターンが周方向に $m = 1$ で往復振動する様子が捉えられた。

Fig.5 は $Ar = 1.5$ における軸方向多点での表面流速（軸方向成分と周方向成分）の測定結果を図示したものである。このような測定結果から、表面流速変動と表面温度変動の位相関係が明らかになることができる。

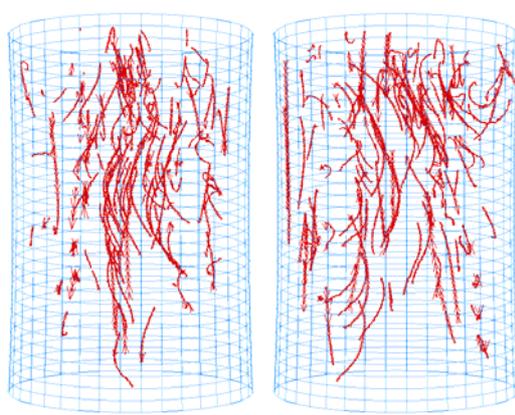


Fig. 4 Flow structures captured by 3-D PTV (left: t=0-15s, right: t=15-30s).

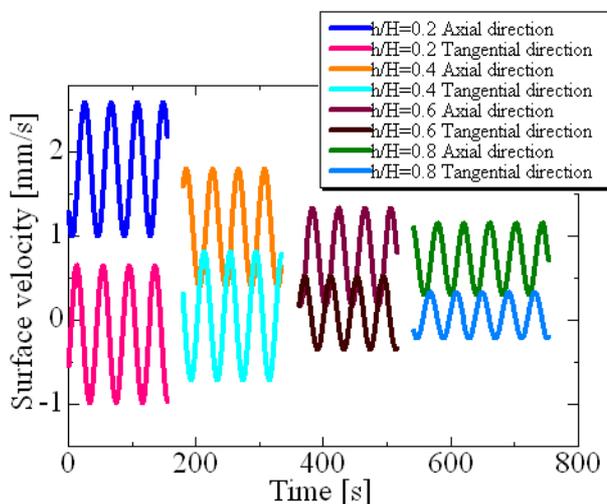


Fig. 5 Surface velocity measured at multiple points.

3. まとめ

上述した通り、2008年と2009年に表面張力対流の宇宙実験（MEIS1とMEIS2）が実施され、所期の目的を達成する測定結果が得られた。今後、さらに詳細な解析を進めると共に、実験結果の公表を進める予定である。