

液柱マランゴニ対流の不安定性に関する宇宙実験

-MEIS-3: 体積比の影響と PAS の観察-

矢野 大志, 西野 耕一 (横浜国立大学), 河村 洋 (諏訪東京理科学), 上野 一郎 (東京理科大学),
松本 聡, 大西 充, 桜井 誠人 (JAXA)

Space Experiment on the Instability of Marangoni Convection in Liquid Bridge

-MEIS-3: Effect of Volume Ratio and Observation of PAS-

Taishi Yano, Koichi Nishino*, Hiroshi Kawamura, Ichiro Ueno, Satoshi Matsumoto, Mitsuru Ohnishi,
Masato Sakurai

*Yokohama National University, Yokohama, Kanagawa 240-8501

E-Mail: nish@ynu.ac.jp

Abstract: The 3rd series of microgravity experiments on the Marangoni convection in liquid bridges (MEIS-3) have been carried out from September, 2011. The purpose of MEIS-3 is shown as follows: (1) to determine the critical temperature difference for the onset of oscillatory flow; (2) to clarify the effect of volume ratio; (3) to realize the high Marangoni number condition and observe the transition process to the chaotic state; (4) to observe particle accumulation structure (PAS); and (5) to form the hanging droplet and observe the Marangoni convection and PAS. In this paper, some preliminary, but important results from MEIS-3 are given.

Key words: MEIS-3, Marangoni convection, volume ratio, particle accumulation structure (PAS)

1. はじめに

国際宇宙ステーション(ISS)日本実験棟「きぼう」における初の科学実験であるマランゴニ対流実験 (Marangoni Experiment in Space: MEIS)の第3シリーズである MEIS-3 が 2011 年 9 月 20 日より開始された。この実験は PI/CI と学生 3~5 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)を操作することで行わる。

本実験は、同軸上にある 2 つの円形ディスク間に形成されるシリコンオイル液柱を対象とし、ディスク間に温度差を与えることで生じる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。今回の実験では直径 30mm のディスクと動粘性係数が 20cSt のシリコンオイル(プラントル数: $Pr=207$)を使用された。過去の宇宙実験の概要は Table 1 に示す通りである。今回の実験は 30mm のディスクを用いた最後の実験ということもあり、非常に冒険的な条件での実験を行っている。

MEIS-3 の実験目的は以下に示す通りである。

- ・ 各アスペクト比における臨界値を決定する
- ・ 体積比が振動流遷移に与える影響を調べる
- ・ 高マランゴニ数条件を実現し、カオス流への移行の確認と観察を行う
- ・ PAS を観察する
- ・ 液滴を形成し、対流場の観察を行う

ここで、アスペクト比(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無次元数、体積比(Vr)はディスクを底面とする真円柱に対するシリコンオイルの充填率を表す無次元数、マランゴニ数(Ma)はマランゴニ対流を支配する無次元数を、それぞれ表している。また、PAS(Particle Accumulation Structure)はトレーサ粒子がある特定のパターンを持って集合する現象のことである。

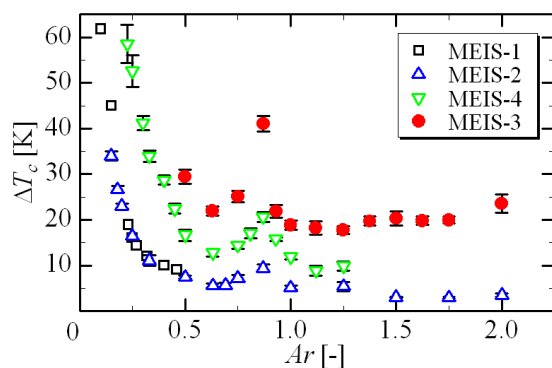
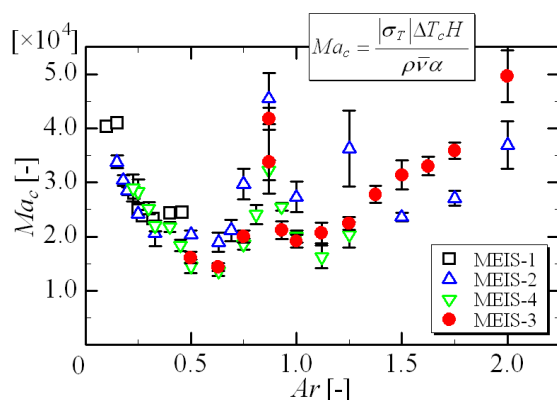
本稿では MEIS-3 で得られた成果の一部を述べる。

2. MEIS-3 の成果概要

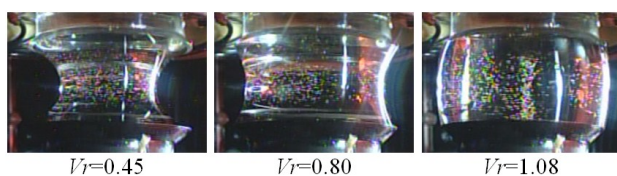
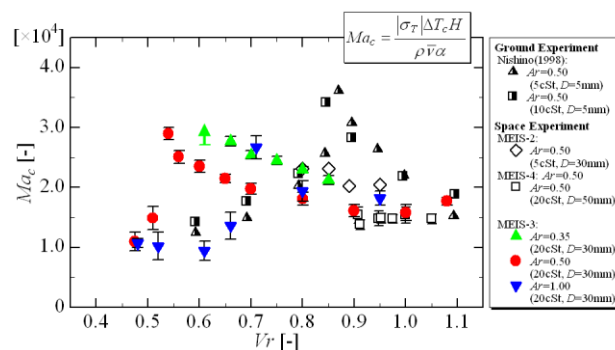
MEIS-3 では、 $Ar=0.35\sim2.0$ の広い範囲において振動流遷移の臨界条件が測定された。Fig.1 と 2 は、それぞれ臨界温度差(ΔT_c)と臨界マランゴニ数(Ma_c)を Ar に対してプロットしたものである。Fig.2 において、 $Ar=0.5\sim1.0$ の範囲においては過去の宇宙実験と非常に似た結果を示しており、 $Ar=0.87$ 付近においてピークを有していることがわかる。しかし、 $Ar\geq1.25$ では MEIS-2 と大きな差異が認められた。

Table 1 MEIS シリーズ実験概要

	MEIS-1 (2008)	MEIS-2 (2009)	MEIS-4 (2010)	MEIS-3 (2011)
動粘性係数	5cSt	5cSt	20cSt	20cSt
プラントル数	67	67	207	207
ディスク径	30mm	30mm	50mm	30mm
粒子径	30 μ m	180 μ m	180 μ m	180 μ m
粒子数	-	500 個	500 個	2000 個

Fig.1 ΔT_c vs. Ar .Fig.2 Ma_c vs. Ar .

MEIS-3 では Vr が振動流遷移に与える影響について詳細な実験を行った. 過去の地上実験¹⁾から $Ar=0.5$ の液柱に対して Vr を変化させた際、 $Vr=0.9$ 付近で Ma_c が極大となり、周方向モード数が変化することが知られている. 対して過去の宇宙実験(MEIS-2、4)²⁾では Ma_c は一定の値をとり、周方向モード数にも変化が見られなかった. そこで、MEIS-3 では $Ar=0.35$ 、 0.5 、 1.0 の液柱について Vr をより大きな範囲で変化させて実験を行った. Fig.3 は $Ar=0.5$ について Vr を変化させた際の液柱形状、Fig.4 は Vr に対して Ma_c をプロットしたものである. この結果から、宇宙実験でも Vr が振動流への遷移条件に大きな影響を与えることが明らかになった. $Ar=0.5$ については $Vr=0.55$ 、 $Ar=1.0$ については $Vr=0.7$ 付近で Ma_c が極大となり、 Ar によってピークの位置が移動することがわかった. また、同じ Ar であっても地上実験と宇宙実験ではピークの位置が異なり、地上実験ではピークの前後で周方向モード数が変化していたのに対して、宇宙実験ではそのような変化は確認されなかった. これらの違いは浮力の影響、液柱形状の違いなどによるものと思われるが、今後の解析で明らかにしていく予定である.

Fig.3 Shapes of liquid bridge for different Vr .Fig.4 Ma_c vs. Vr .

MEIS-3 では $Ar=0.35$ 、 $Vr=0.80$ の液柱において、上下ディスク間に $\Delta T=52.7K$ の温度差を加えたときに PAS が観測された. Fig. 5 はその静止画であり、周方向モード数 2 の PAS が反時計方向に回転している様子がわかる. 微小重力環境で PAS が観察されるのは今回の実験で 2 回目であり³⁾、 $Pr=207$ という非常に高いプラントル数流体での PAS の観察は今回が初めてである.

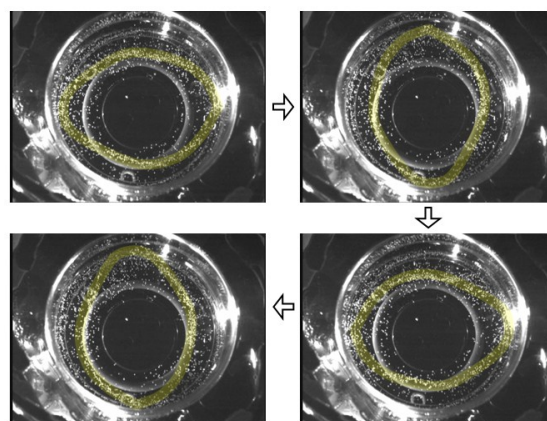


Fig.5 Visualization of PAS.

3. まとめ

2011 年から 2012 年にかけて行われたマランゴニ対流に関する宇宙実験(MEIS-3)において、初期の目的を達成する測定結果が得られた. 今後は得られたデータについて詳細な解析を行いマランゴニ対流の不安定性について明らかにしていく予定である.

参考文献

- 1) Nishino, K. et al.; Experimental study of oscillatory flow and transition behavior of high Prandtl number Marangoni convection, *Marangoni Convection Modeling Res.*, pp. 37-69 (1999).
- 2) Yano, T., et al.; Space experiment on the instability of Marangoni convection in large liquid bridge – MEIS-4: Effect of Prandtl number -, *J. Phys. Conf. Series*, Vol. 327, 12029 (2011).
- 3) Schwabe, D., et al.; Particle accumulation structure in timedependent thermocapillary flow in a liquid bridge under microgravity, *Microgravity Sci. and Tec.*, Vol. 18, Nos. 3-4, pp. 117-127 (2006).