

界面現象と流体不安定性の研究ワーキンググループ活動報告

JAXA 松本 聡、依田真一

ケースウェスタンリザーブ大学 鴨谷康弘

九州大学 今石宣之

東京理科大学 河村 洋

横浜国立大学 西野 耕一

トロント大学 川路正裕

東京理科大学 上野一郎

東北大学 小宮敦樹

JAXA 大平博昭、益子岳史

Activity Report of Research Working Group on Interfacial Phenomena and Fluid Instability

Satoshi Matsumoto, Shinichi Yoda

Japan Aerospace Exploration Agency, 2-1-1, Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-8505

Yasuhiro Kamotani

Case Western Reserve University, 10900 Euclid Avenue, Cleveland, Ohio 44106-7222, U.S.A

Nobuyuki Imaishi

Kyushu University, 6-1, Kasuga-Koen, Kasuga, Fukuoka, 816-8580

Hiroshi Kawamura

Tokyo University of Science, 2641 Yamazaki, Noda-shi, Chiba-ken 278-8510

Koichi Nishino

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

Masahiro Kawaji

University of Toronto, Toronto, Ontario M5S 1A4, Canada

Ichiro Ueno

Tokyo University of Science, 2641 Yamazaki, Noda-shi, Chiba-ken 278-8510

Atsuki Komiya

Tohoku University, 1-1, Katahira, 2-chome, Aoba-ku, Sendai 980-8577

Hiroaki Ohira, Takashi Mashiko

Japan Aerospace Exploration Agency, 2-1-1, Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-8505

E-Mail: matsumoto.satoshi@jaxa.jp

Abstract: This report was described the activity of a research working group on Interfacial Phenomena and fluid instability. Primary three themes which would promise to utilize the microgravity condition were discussed. The research plan and organization concerning these themes were established. We start the preparatory study to accomplish each objectives.

Key words; Fluid instability, Marangoni flow, Crystal growth, Bubble formation, g-jitter

1. 研究班 WG の名称

研究班 WG の提案時に「流体不安定性研究 WG」として申請した。選定時に、「WG 名称が一般的で広範すぎるので、内容に即した名称を検討すること」とコメントされた。本 WG は 3 つのサブグループ (SG) における活動をベースとして

おり、いずれのサブグループも界面現象を伴う流体不安定性を取り扱うことから、「界面現象と流体不安定性の研究 WG」と名称変更した。

2. 構成メンバ

表 1 に構成メンバーと役割を示す。

表1 構成メンバーおよび役割

氏名・所属	役割
松本 聡 JAXA	WG 取り纏め SG1: 干渉計を用いた温度場の計測実験 SG2: 気泡挙動の観察 (SG2 リーダ)
依田 眞一 JAXA	SG1: 現象モデル構築 SG2: 現象モデル構築
鴨谷康弘 Case Western Reserve University	SG2: 対流中の気泡挙動に関する数値解析
今石宣之 九州大学	SG1: 環状液層内での凝固界面形状不安定性の実験、数値解析
河村 洋 東京理科大学	SG1: 矩形液膜における凝固界面の形態計測と不安定性限界、過冷度の実験、数値解析 (SG1 リーダ)
西野耕一 横浜国立大学大学院	SG3: 軌道上での g-jitter を模擬した実験 (SG3 リーダ)
川路正裕 University of Toronto	SG3: g-jitter を模擬した界面変形に関する実験および数値解析
上野一郎 東京理科大学	SG1: 矩形液膜における凝固界面の形態計測と不安定性限界、過冷度の実験、数値解析
小宮敦樹 東北大学	SG2: 気泡を模擬する混入物質の検討
大平博昭 JAXA	SG2: 数値解析による気液、固液密度差の評価
益子岳史 JAXA	SG2: 実験装置製作および実験実施

3. 本年度 WG 会合開催

- (1) 第1回：平成 17 年 11 月 2 日
研究の進捗報告および議論
- (2) 第2回：平成 18 年 3 月 16 日 (予定)
研究の進捗報告、今後の進め方の議論

4. 研究班の活動目的

流体力学的不安定性に関する研究は、19 世紀のレイノルズの研究に始まり 100 年を超える非常に長い歴史があり、単純な系における現象の解明は相当進んできた。しかし、流体力学と表面現象、相変化を伴うカップリング現象に関しては、未解明・未着手の領域も多い。

そこで、流体不安定性と結晶成長や気液二相の相互作用等に関するサブグループを形成し、研究に着手し、次ステップへの発展を図る。特に、微小重力環境の利用が有効な、界面を有する流体挙

動の現象解明、モデル材料を用いた対流や g ジッタが結晶成長に及ぼす影響の解明、マランゴニ対流下での微小気泡配列現象の解明等の研究課題を検討し、地上研究の実施及び短時間微小重力実験手段で体系的な研究成果を創出可能な研究構想を検討することが目的である。

5. 活動内容

本 WG は、平成 15 年度、平成 16 年度に宇宙環境利用科学委員会の研究班 WG として活動を継続してきた。昨年度の議論において 3 つの研究課題を設定し、それぞれサブグループとして活動を行っている。以下の各サブグループにおける目的、活動状況を記述する。

5.1 流れを伴う相変化不安定性解明 (SG1)

(1) 目的

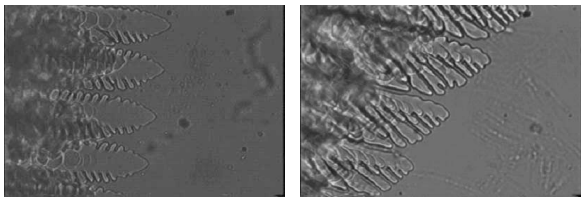
凝固に及ぼす対流の影響を系統的に研究する第一歩として、平滑界面からのマイクロ・マクロモルフロジー不安定性発生限界に対する対流の寄与を明らかにすることを目的とする。対流としては、自然対流およびマランゴニ対流が考えられるが、本計画ではマランゴニ対流を中心に研究を進める。形状としては、直線的な固液界面を基本形状とする矩形液膜系が一般的であるが、この系においては両側面の影響が避けられない。そこで側面を有しない配置として環状液膜も取り上げることとし、矩形液膜と環状液膜の両者について検討する。さらに、デンドライト界面などの不安定発生後の形態に対する影響についても併せて研究を行う。

(2) 活動状況

モデル材料 (サクシノニトリル等) を用いた流れと結晶成長界面形態、組成分布変動について実験及び数値解析による研究とし、研究計画を立案した。その研究計画を第 8 回公募地上研究制度に応募し、採択された。

干渉計を利用し融液内部の温度場濃度場を取得する予定としており、その準備として干渉計のセットアップ、実験セルの設計・製作を現在実施している。また、サクシノニトリル-アセトン系の拡散係数の濃度依存性のデータが無いことから、拡散対法を用いた拡散係数の測定を実施している。

今後は制御された流動下での結晶成長を行い、成長界面近傍の温度勾配、濃度勾配を干渉計により測定し、成長の駆動力である界面過飽和度を算



(a) No convection (b) Marangoni Convection
 Fig. 1 Dendrite interface shape with and without convection

出する。そのことにより、対流強度による成長界面不安定性限界への影響を明確化する。

5.2 対流中に存在する気泡によるパターン形成 (SG2)

(1) 目的

マランゴニ対流の微小重力実験 (OTFE-2) において、微小気泡が等間隔に整列する特異な現象が見出された。この現象は、定常マランゴニ対流実験時に偶然混入した数個の気泡が、互いに離れる挙動を通じて、円周方向に整列するものである。この気泡はマランゴニ流れの渦中心に留まっているが、次の気泡が混入すると小さな気泡は時間と共に離れて行き、複数個の気泡が混入した場合には最終的に円周方向に等間隔に整列した。この事実は、気泡間にあたかも何らかの斥力的相互作用が存在することを意味している。本研究を通じて、地上では困難な気泡に関する実験手法を確立すると共に、気泡の運動に関する解明を図る。さらに、長距離相関を持つ斥力相互作用の解明を目指す。

(2) 活動状況

直径 30 mm 環状セルを有する実験装置の製作を行い、地上での予備実験を開始した。実験では、シリコンオイルによるマランゴニ対流を発生させ、その対流中に比重を一致させた液滴 (主流体とは相分離) を数個混入した状態を実現した (Fig. 2)。今後は、主流に混入する液滴の物性値依存性や、固体球を混入し表面でのスリップの影響を調べる予定である。

また、固液あるいは気液の 2 相流れを取り扱う数値解析コード作成し、気泡の運動をデモンストラーションとして実施した。今後は、実験で行っ

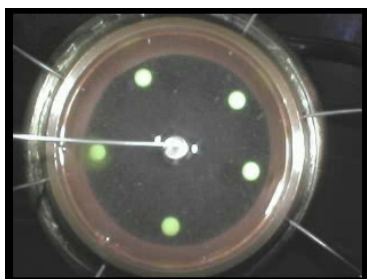


Fig. 2 Pattern formation of liquid droplet

ている環状プールでのコンフィギュレーションによる解析を実施し、実験結果との比較により、気泡整列メカニズムの解明を行う。

5.3 表面張力駆動流に対する重力変動の効果 (SG3)

(1) 目的

国際宇宙ステーションにおける流体物理実験テーマとして採択されている温度差駆動の表面張力流を対象として、重力変動が与える効果 (具体的には、重力変動がもたらす気液界面の動的変形、対流パターンの変化、振動流遷移への影響、気液界面熱輸送との関係など) を明らかにする。また、任意の重力変動を再現するためのプラットフォームとして、g ジッタシミュレータを開発し (Fig.3)、地上において重力変動の効果を研究するための基盤技術として展開する。

これまで、重力変動をノイズと捉え、その影響を調べた研究は散見されるが、任意の重力変動を人工的に再現し、その影響を中心課題として検討する研究は国内外で初めてである。重力変動についてはカナダ宇宙局を中心とするカナダ研究者が先駆けであり、川路 (トロント大学) と西野 (横浜国立大学) の国際共同研究として実施している。

(2) 活動状況

Fig.3 に示す実験装置において、g-jitter および対流による界面の微細な変形を捉えることに成功した。g-jitter による界面変形は、液柱の固有振動数の理論的解析値にほぼ一致した。また、振動流による界面変形と液柱の形状から決まる固有振動数の周波数が異なる場合、jitter の有無による対流への影響は無かった。

また、数値解析とバネ-マス-ダンパ系による振動数の解析との比較においても実験値をよく再現した。ただし、数値解析においては対流が組込まれておらず、対流を加味した解析を今後行う予定である。この解析により、対流の振動周期と固有振動数が一致した場合の影響について解析を行う。

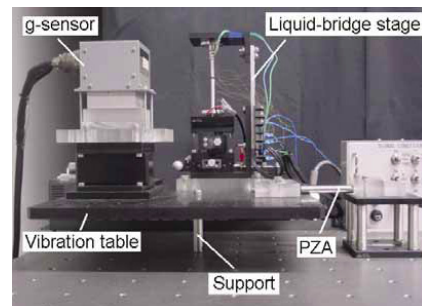


Fig. 3 Present vibration table driven by a piezoelectric actuator (PZA)