

「界面現象と流体不安定性の研究」WG 活動報告

宇宙航空研究開発機構 松本 聡

ケースウェスタンリザーブ大学 鴨谷康弘

静岡大学 益子岳史

日本原子力研究開発機構 大平博昭

東北大学 小宮敦樹

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

E-Mail: matsumoto.satoshi@jaxa.jp

Yasuhiro Kamotani

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

Takashi Mashiko

Shizuoka University, 3-5-1, Jyohoku, Hamamatsu, Shizuoka 432-8561

Hiroaki Ohira

Japan Atomic Energy Agency, 4002, Narita-cho, O-arai-machi, Higashiibaraki-gun 311-1393

Atsuki Komiya

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

Abstract: This report was described the activity of a research working group on Interfacial Phenomena and fluid instability. An alignment of equally-spaced air bubbles which was observed in thermocapillary flow at space experiment of OTFE-2 project is studied to understand its fundamental mechanism. The experimental cell was made and preliminary experiment was carried out. To simulate the bubble ordering, a numerical code was developed and benchmark test was finished successfully.

Key words; Fluid instability, Marangoni flow, Bubble formation, Mechanism

1. はじめに

流体力学と表面現象、相変化を伴うカップリング問題に関しては、未解明・未着手の領域も多い。そこで、特に微小重力環境利用が有効である、マランゴニ対流下での微小気泡配列現象に関する研究課題を設定し、地上研究の実施及び微小重力実験により体系的な研究を行い、対流存在下での気泡パターン形成について解明する。

スペースシャトルにおけるマランゴニ対流実験(OTFE-2)において、気泡が等間隔に整列する特異な現象が見出された(Fig. 1)。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。気泡整列の主因として以下の3つを仮説として検討している。(1)気泡の表面流動、(2)気泡の排除体積効果、(3)対流自身の周期構造形成。これらが実際に気泡整列に影響しているかを調べるための予備検討として、気泡に見立てた固体球や非混合液体をマランゴニ対流中に投入しその挙動を観察した。その結果、固体球の場合、最終的に凝集する傾向が見られた。一方、液体を投入した場合、一部の条件において斥力的な挙動を示した。また、極小のトレーサ粒子を混入した実験においては対流自身の周期構造も見出されている。

これまでのところ、上記仮説の(1)と(3)が有力であるが、今年度は更に実験データを積み重ねると共に、気泡を取り扱う数値解析により現象の解明を進めた。



Fig.1 マランゴニ対流中の気泡の整列現象 (OTFE-2)

2. 活動内容

2.1 実験

気泡整列の主因として 3 つを仮説を立て検討している。これらが実際に気泡整列に影響しているかを調べるための予備検討として、直径 30 mm の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 (Fig. 2)。実験では、中心に加熱用のヒータを設置して加熱し、側面を冷却水を通すことで冷却した。そのことにより、シリコンオイル中に温度差マランゴニ対流を発生させ、気泡に見立てた固体球や非混合液体をマランゴニ対流中に投入しその挙動を観察した。その結果、固体球の場合、最終的に凝集する傾向が見られた。一方、液体を投入した場合、一部の条件において斥力的な挙動を示した (Fig. 3)。また、極小のトレーサ粒子を混入した実験においては対流自身の周期構造も見出されている。

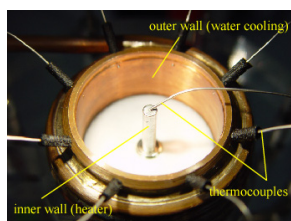


Fig.2 実験セル

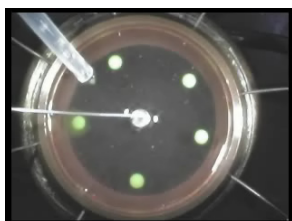


Fig.3 気泡模擬液滴の配列

2.2 数値解析

解析では、有限要素法にレベルセット法を適用した手法を採用し、まず上記の容器に生じるマランゴニ対流の定常解を求め、次に適当な位置に発生させ、その動きをシミュレーションするという手順で行った。昨年度は、上記円筒容器の 45°セクターモデルに単一気泡が存在する場合の解析を実施し、気泡速度は容器中心 (ヒータ表面) に近づくにつれて増大し、渦中心方向に移行することを明らかにした。

今年度は、Fig.4 に示したように、円筒容器の 90°セクターに 2 個の気泡が存在し、相互作用について

解析を実施した。気泡位置は、高さ方向及び半径方向は上記の単一気泡の場合と同じであるが、周方向は 30°及び 60°と、周方向に非対称な位置とした。Fig. 5 に周方向速度コンターを示す。2 個の気泡間の速度コンターが外部よりも密となり、気泡間に斥力が作用していることがわかった。したがって、ヒータ表面に近い領域において、これらの斥力により気泡は互いにより離れた位置へ移動すると考えられる。

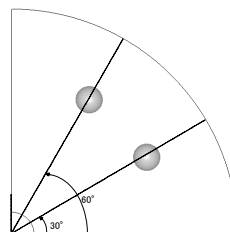


Fig.4 90°セクターモデルの初期気泡位置

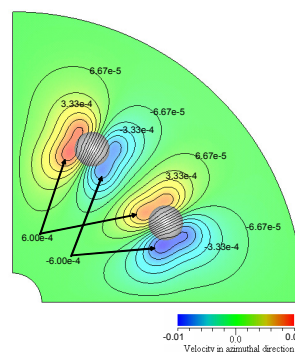


Fig.5 周方向流速コンター分布 (t=27.5)

3. まとめ

流体に混入した気泡は、通常重力下では浮力により瞬く間に上昇し、メイン流体中から抜けてしまう。このことが地上実験による気泡挙動の観察を困難にしている。そのため現在、メイン流体と密度を一致させた層分離する液体や固体を混入し実験を行っている。この地上実験により、気泡配列効果の要因として挙げた (1) 気泡の表面流動、(2) 気泡の排除体積効果、(3) 流体自身の周期構造形成を確認しようとしている。しかし、地上での実験では明確に気泡同士の斥力作用は確認できていない。地上において、実験セルを小さくするなどの工夫をし、浮力の影響を可能な限り抑制した実験を行う計画ではあるが、液体と気体のように 1000 倍程度密度の違う流体では、どうしても浮力の影響を排除することが困難である。数値解析を更に進め、密度差の影響を詳細に解析することで、気泡間斥力の働く条件を見出し、最終的には浮力の作用しない宇宙実験により確認が必要であると考えている。