

濡れ性及び界面張力コントロールに関する研究 WG 活動報告

桜井 誠人* (JAXA / ISTA)、阿部 宜之(産総所)、佐藤 正秀(宇都宮大)、神保 至(東海大)

Activity of Wetting and Surface Tension Control Working Group

Masato Sakurai* (JAXA), Yoshiyuki Abe (AIST), Masahide Sato (Utsunomiya Univ.),
Itaru Jimbo (Tokai Univ.)

*Institute of Space Technology and Aeronautics, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA),
7-44-1 Jindaiji-Higashi-machi, Chofu, Tokyo 182-8522
E-Mail: sakurai.masato@jaxa.jp

Abstract: The wettability and surface tension become dominant force under micro-gravity and micro-scale conditions. The existence of similarities between microgravity and micro-scale is a well-known fact. In order to establish fundamental fluid handling under microgravity conditions, the control of wetting and surface tension is an essential technique. Outstanding performances of the wickless heat pipe with self-rewetting fluids were demonstrated in low gravity available by parabolic flights. Attractive surface tension behaviors of self-rewetting nano-fluids were introduced. A trend of MEMS devices in relation to surface tension and wetting were obtained from guest speaker.

Key words; Space Utilization, Fluid handling, Wetting, Self-rewetting, Nano-fluid, MEMS

1. はじめに

微小重力場においては周知のとおり、濡れ性や表面張力が支配的となる。地上においてこれらの力は重力の影響に隠されてきたため、十分にコントロール手法が発達しているとは言いがたい。本ワーキンググループでは、濡れ性や界面張力を意識した、微小重力場における流体のハンドリング及び新規熱制御技術に関して討論をおこなう。本年度の具体的な研究テーマは、撥水剤の希釈による濡れ性勾配の形成、Self-rewetting 流体を用いたウィックレスヒートパイプの形成、Self-rewetting 流体とナノ粒子を分散した際の表面張力の特異な温度依存に関する研究である。さらに、近年急速に進歩するマイクロマシン関連の技術とはマイクロスケールとマイクロ重力の相似性の観点から共に発展することを目指し、濡れ性・マイクロマシン・宇宙などに関連するゲストスピーカーを招聘し見聞を広げる事も目的の一つとしている。

2. 会合の開催

本ワーキンググループは昨年 H16 年度、宇宙利用研究流体科学ワーキンググループのサブグループの一つとして活動していたが、本年度は、独立して以下の会合を持った。

会合名； 第一回 濡れ性及び界面張力コントロールに関する研究 WG

月日； 2006 年 12 月 1 日(木)

場所； JAXA 東京事務所

ゲストスピーカー； 九州大学航空宇宙工学部門
高橋厚史先生

3. 内容

3.1 Self-Rewetting 流体を用いた超軽量フレキシブルラジエーター

炭素数が 4 以上の高級アルコール希薄水溶液は、表面張力が温度とともに顕著に増大する特異な性質を有する。この溶液は、低濃度の非共沸組成において、アルコール成分が選択的に蒸発するため、気液界面に温度勾配とともに濃度勾配が形成され、しかも両者によって相乗的に生じるマランゴニ効果は、単成分の時とは逆に、乾燥面に液体を供給する方向に強い流れを生じ、これは顕著な沸騰伝熱促進につながる。この流体を Self-rewetting 流体と名付けている。

Self-rewetting 流体の特異な性質を、微小重力場において最も有効に発揮する応用例としてウィックレスヒートパイプがある。1-ブタノール水溶液を用いたウィックレスヒートパイプの動作特性をパラボリックフライトによる低重力場において実験した。熱入力が低く蒸発量が少ない条件では、熱抵抗がウィック型ヒートパイプに比べて高いが、熱入力が高く蒸発量が増大すると、むしろウィック型よりも熱抵抗が低下する。また、ドライアウトに関しては、ウィックレス型の方がウィック型よりも高い値を示した。本概念をベースとして、ポリイミド、銅/ポリイミドの膜材料を利用し、超軽量、高性能で柔軟性を持ち、膨張、展開可能という機能をもつウィックレス型ヒートパイプラジエータパネルを試作した。

3.2 Self-Rewetting ナノ流体

近年、ナノ粒子を混入させた流体を用いる事による熱伝達の向上が報告されており、ヒートパイプの作動媒体に用いて、特に蒸発部の性能向上を図る事ができたという報告もされている。1-ブタノールの水溶液に金や白金などのナノ粒子を混入させる事により、温度上昇に伴う表面張力の増大温度域がより低温化し、増大傾向もより顕著となることを見出した。1-ブタノールと金ナノ粒子からなる流体に低温側 40℃、高温側 60℃ の温度差を加えると低温側から高温側へのマランゴニ対流が観察された。通常流体ではその逆の方向に流れが発生するはずである。さらに、ドデシルアンモニウムクロライド溶液に金や白金のナノ粒子を混入すると、40℃ 付近で表面張力が最小となる特異な現象を見出した。

3.3 生命維持システムと濡れ性のコントロール

米国の新宇宙政策である月面基地建設および火星有人探査に呼応して、今後我が国においても ECLESS (Environmental Control and Life Support System) を中心とする先端的生命維持システムに関する研究が、具体的なミッションとして進展する事が考えられる。宇宙環境利用科学で長年培われた流体現象に関する知見は、軌道上におよび低重力場において先端的生命維持システムを設計運用する際にも非常に重要である。空気再生、水再生、廃棄物処理、生活用水処理(洗濯、風呂など)、バイオマス(サラダマシーンなど)などが生命維持技術の流体に関する要素として上げられる。本年度は、濡れ性勾配をより容易に作製すべくテフロンディスパーションと HIREC の二種の撥水剤をそれぞれ水とシンナーで希釈する事により濡れ角が濃度に依存して変化する事を確認した。その後、1mm 間隔で 5 段階の濡れ性分布をスライドガラス上に形成した。その上に水滴を落とすと疎水性の弱い方から強い方へと水滴が移動する事を確認した。

3.4 MEMS デバイスと表面張力・濡れ性

今回のゲストスピーカーとして、欧米の航空宇宙分野へのマイクロナノ技術の動向にお詳しく、バブルとマランゴニ対流を用いたマイクロモーターを試作されている、九州大学航空宇宙工学部門 高橋厚史先生に参加をお願いし講義していただいた。内容は以下の通りである。

- 1) MEMS の基礎
デバイス例と製作法
過去と未来
- 2) MEMS における気泡・気液界面

Macro Scale との違い

問題点と応用

- 3) MEMS スラスタ
固体推進剤
液体推進剤
- 4) マイクロチャンネルでの沸騰
表面形状の影響
濡れ性の影響
- 5) ナノ加工と濡れ性
ポーラスシリコン
ナノピラー
- 6) 表面張力を利用したポンプ
開発例
実証と限界性能
- 7) マランゴニ効果の MEMS 利用
マイクロモーターとマイクロ気泡
モータ、弁、など
- 8) 気泡の最適な利用例
マイクロタンクアレイ

4. まとめ

図 1 に濡れ性及び界面張力コントロールに関する研究 WG の活動内容を示した。図に示すようにマイクロ重力とマイクロスケールでは濡れ性や表面張力が支配的になる点において共通である。MEMS からの情報と μg からの情報をお互いに交換するし、濡れ性制御、表面張力制御を意識して流体のハンドリングや新規の熱制御を提案する。その成果は、ISS や次期のプロジェクトである、有人月面探査、有人月面基地の要素として利用されてゆくと考える。さまざまなトピックにおいてポテンシャルをあげておく事により機が熟した時、急速な進展が期待できる。

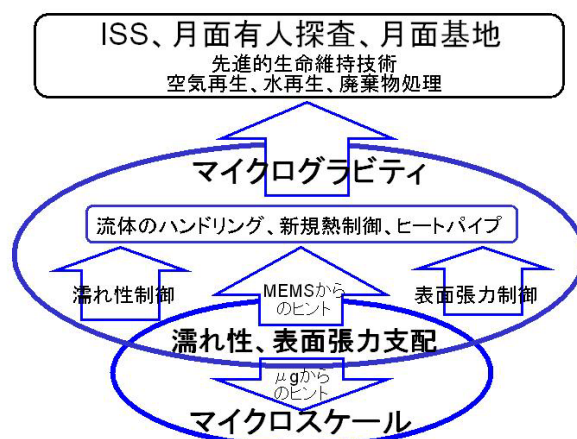


図 1 濡れ性及び界面張力コントロールに関する研究