

平成 23 年 4 月 15 日現在

研究種目： 若手研究 (A)
研究期間： 平成 20 年度～平成 23 年度
課題番号： 20686017
研究課題名 (和文) 移動・変形を伴う固液気 3 相境界線近傍流体のメゾスコピック熱流体力学の展開
研究課題名 (英文) Mesoscopic thermo-fluid dynamics in the vicinity of the macroscopic contact line of the spreading droplet with deformation
研究代表者 上野 一郎
(東京理科大学 理工学部 機械工学科 准教授)
研究者番号： 40318209

研究分野：

科研費の分科・細目： 機械工学、熱工学

キーワード： 濡れ性、コンタクトライン、先行薄膜

1. 研究計画の概要

本研究においては、メゾスコピック界面熱流体力学の展開として、下記 4 点を研究計画の中心として活動を行ってきた。すなわち、

- (1) 移動・変形を伴う固液気 3 相巨視的境界線 (マクロ的コンタクトライン：以下 M-CL) 前方に存在する先行薄膜領域の高精度検出
- (2) M-CL 近傍における含有微粒子挙動の 3 次元挙動の理解
- (3) 固体面性状・面上物質が与える M-CL 移動・先行薄膜発達への影響の把握
- (4) M-CL および先行薄膜領域、それら内部における粒子運動制御の実現

である。これらのトピックに関し、実験および数値計算により研究を進めてきた。

2. 研究の進捗状況

内容 (1) に関しては、偏光干渉計を用いた手法に加え、プリュースター角顕微鏡および共焦点型レーザ変位計の導入により、異なる手法により同等の計測を実現できた。これにより、先行薄膜の時空間的発達過程やその形状変化について知見を得ることに成功した。さらに試験流体の粘性の影響についても知見を得た。

内容 (2) に関しては、いわゆるコーヒー

STEIN 問題に着目し、液滴を固体基板に滴下した直後の含有粒子の影響およびその挙動について実験を進めてきた。液滴の濡れ拡がりに対する含有粒子が与える影響を明らかにしつつ、濡れ拡がりが進んでいく過程において液滴内部に形成される対流場について、3 次元 PTV (粒子追跡速度計測法) を道有して対流場の再構築を行った。

内容 (3) については、分子レベルの凹凸を有する基板上での液滴の濡れ拡がりについて、分子動力学法を用いた数値計算により解析を行った。これにより、パターンの方向と液滴の変形との関係を明らかにした。また、実験により固体基板上に電氣的に中性な粒子を静置しておき、先行薄膜領域との相互作用の有無について解析を行った。

内容 (4) に関しては、昨年度から予備実験を開始している段階であり、今年度の重要課題となる。

3. 現在までの達成度

内容 (1) ~ (3) に関しては、研究開始前の想定と同等あるいはそれ以上の結果を得ることが出来た。特に、(1) においては原理的に異なる複数の手法により先行薄膜領域の検出が出来たことにより、我々の研究チームで検出したものが、従来の研究で対象としていた充分発達した状態の先行薄膜と異なる領域のものであることを示すことが出来た。また、粒子を含有する液滴の濡れに関しても、液滴滴下からの経過時間により、粒子の寄与度が異なることを明らかに出来

たことは大きな成果であると考えている。

4. 今後の研究の推進方策

内容(1)～(3)に関連する成果については、いずれも学術論文として発表あるいは発表準備中である。内容(1)および(2)については、昨年度の研究成果をこれから至急まとめていきたいと考えている。

液滴内に存在する固体物質が先行薄膜形成に与える影響(内容(4))に加え、複数の液滴の合体過程における先行薄膜の挙動について、実験・計算の両方のアプローチにより解析を行っていく予定である。

また、分子動力学による数値計算については、より現実的な物質の組み合わせにより解析が可能となるように進めていきたいと考えている。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

- [1] Ueno, I. & Kochiya, K., Effect of evaporation and solutocapillary-driven flow upon motion and resultant deposition of suspended particles in volatile droplet on solid substrate, *Adv. Space Research* 41, 2089-2093, 2008.
- [2] Ueno, I., Konisho, T., Kawase, T. & Watanabe, T., Precursor film length ahead droplet traveling on solid substrate, *Fluid Dynamics & Materials Processing (FDMP)* 4, 21-26, 2008.
- [3] Ueno, I. & Kishida, T., On 'Tears of wine' -flow due to solutocapillary effect formed on inclined wall-, *Fluid Dynamics & Materials Processing (FDMP)* 4, 55-60, 2008.
- [4] Kochiya, K. & Ueno, I., Effect of Suspended Particles on the Drying Process of a Carrier-Fluid Droplet Sitting on a Solid Surface, in *Interdisciplinary Transport Phenomena 1161* (ed. Sadhal, S.), New York Academy of Science, New York, pp.234-239, 2009.
- [5] Konisho, T. & Ueno, I., Detection of Advancing Edge and Length of Precursor Film Ahead of Macroscopic Contact Line of Droplet Spreading on Solid Substrate, in *Interdisciplinary Transport Phenomena 1161* (ed. Sadhal, S.), New York Academy of Science, New York, pp.292-303, 2009.
- [6] Ueno, I. & Torii, T., Thermocapillary-driven flow in a thin liquid film sustained in a rectangular hole with temperature gradient, *Acta Astronautica* 66, pp.1017-1021, 2010.
- [7] Ueno, I., Hirose, K., Kizaki, Y., Kisara, Y. & Fukuhara, Y., Precursor film formation process ahead macroscopic contact line of spreading droplet on smooth substrate, *Trans. ASME, J. Heat Transfer*, accepted.
- [8] Ueno, I., Kisara, Y., Hirose, K. & Kizaki, K., Formation of precursor film ahead macroscopic contact line of spreading droplet, *Int. J. Transport Phenomena*, accepted.
- [9] Yoshitsugu, K. & Ueno, I., Effect of suspended particles

on spreading of volatile droplet on solid substrate, *J. Visualization*, accepted.

[学会発表] (招待講演) (計 2 件)

- [1] Ueno, I., Detection of advancing edge and existing length of precursor film ahead macroscopic contact line of droplet spreading on solid substrate, 6th Int. Conf. on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels (ICNMM08) (June 23-25, 2008, Darmstadt, Germany), 2008.
- [2] Ueno, I., Hirose, K. & Kizaki, Y., Formation of precursor film ahead macroscopic contact line of spreading droplet, 6th Interdisciplinary Transport Phenomena VI (Volterra, Italy, Oct. 4-9, 2009), paper #ITP-09-38, 2009. (oral, keynote lecture)

[学会発表] (審査有) (計 10 件)

- [1] Shibata, A. & Ueno, I., Molecular dynamics simulations of Rayleigh instability of liquid film on nanowire, *Heat Transfer and Fluid Flow in Microscale III* (Sept.21-26, 2008, Whistler, BC, Canada), 2008.
- [2] Ueno, I. & Torii, T., Thermocapillary-driven flow in a thin liquid film sustained in a rectangular hole with temperature gradient, 59th Int. Astronautical Congress (Glasgow, Scotland, 9/29 - 10/3, 2008), DVD (paper #: IAC-08.A2.2.2), 2008.
- [3] Ueno, I., Torii, T., & Watanabe, T., On thermocapillary-driven convection in a thin free liquid film sustained in a hole with temperature gradient, 4th Int. Marangoni Association Conf. on Interfacial & Micro Fluid Dynamics & Processes (IMA4) (Chiba, 10/21 - /23, 2008), p.3, 2008. (oral)
- [4] Shibata, A. & Ueno, I., Simulation of Rayleigh instability of liquid film on nanowire by classical molecular dynamics, 4th Int. Marangoni Association Conf. on Interfacial & Micro Fluid Dynamics & Processes (IMA4) (Chiba, 10/21 - /23, 2008), p.7, 2008. (oral)
- [5] Ohara, T., Ueno, I., Ogihara, S. & Watanabe, K., Wetting behavior between fibre and resin in vacuum assisted resin transfer molding (VARTM), 17th Int. Conf. on Composite Materials (ICCM17) (Edinburgh, UK, July 27th-31st, 2009), DVD, 2009. (oral)
- [6] Ueno, I., Hirose, K. & Kizaki, Y., Formation of precursor film ahead macroscopic contact line of spreading droplet, 6th Interdisciplinary Transport Phenomena VI (Volterra, Italy, Oct. 4-9, 2009), CD-ROM(paper# ITP-09-38), 2009. (oral, keynote lecture)
- [7] Ueno, I., Hirose, K., Kizaki, Y., Kisara, Y. & Fukuhara, Y., Precursor film formation process ahead macroscopic contact line of spreading droplet on smooth substrate, ASME 2009 2nd Micro/Nanoscale Heat & Mass Transfer International Conference (12/18-/21 2009, Shanghai, China), CD-ROM, paper #: MNHMT2009-18314, 2009. (oral) (reviewed)
- [8] Shibata, A. & Ueno, I., Molecular dynamics of rupture phenomenon in a liquid film on nanowire under isothermal condition, ASME 2009 2nd Micro/Nanoscale Heat & Mass Transfer International Conference (12/18-/21 2009, Shanghai, China), CD-ROM, paper #: MNHMT2009-18310, 2009. (oral) (reviewed)

[9] Ueno, I., Igari, G. & Kisara, Y., Detection of precursor film formed ahead droplet spreading on solid substrate, Proc. 14th Int. Symp. on Flow Visualization (ISFV14) (Daegu, Korea, June 21-24, 2010), usb memory (paper #: ISFV14-1B-2), 2010. (oral)

[10] Yoshitsugu, K. & Ueno, I., Effect of suspended particles on spreading of volatile droplet on solid substrate, Proc. 14th Int. Symp. on Flow Visualization (ISFV14) (Daegu, Korea, June 21-24, 2010), usb memory (paper #: ISFV14-1B-4), 2010. (oral)(selected paper)

〔学会発表〕（一般講演）（計 8 件）

[1] Ohara, T., Ueno, I. & Ogihara, S., Wetting Behavior Between Fiber and Resin in Vacuum Assisted Resin Transfer Moldings(VARTM), J. The Japan Society of Microgravity Application 23 (JASMAC 日本マイクログラビティ応用学会第 23 回学術講演会, 11/25 - /26, 2008, 京都), p.763, 2008. (poster)

[2] Hirose, K. & Ueno, I., Detection of precursor film ahead of droplet traveling on inclined solid substrate, J. The Japan Society of Microgravity Application 23 (JASMAC 日本マイクログラビティ応用学会第 23 回学術講演会, 11/25 - /26, 2008, 京都), p.776, 2008. (oral)

[3] 上野一郎・廣瀬寛二・木崎裕介, 固体基板上を拡がる液滴コンタクトライン前方での先行薄膜形成過程, 第 4 6 回日本伝熱シンポジウム (6/2 - /4 2009, 京都) 講演論文集 vol. II & III, pp.469-470, 2009.

[4] 渡辺俊貴・上野一郎, 温度差マランゴニ効果による自由液膜内非線形対流場とその遷移過程, 第 4 6 回日本伝熱シンポジウム (6/2 - /4 2009, 京都) 講演論文集 vol. II & III, pp.681-682, 2009.

[5] 上野一郎・廣瀬寛二・木崎裕介, 固体基板上を拡がる液滴コンタクトライン前方での先行薄膜形成過程, 第 4 6 回日本伝熱シンポジウム (6/2 - /4 2009, 京都) 講演論文集 vol. II & III, pp.469-470, 2009.

[6] 渡辺俊貴・上野一郎, 温度差マランゴニ効果による自由液膜内非線形対流場とその遷移過程, 第 4 6 回日本伝熱シンポジウム (6/2 - /4 2009, 京都) 講演論文集 vol. II & III, pp.681-682, 2009.

[7] Ueno, I., Hirose, K. & Kizaki, Y., Formation of precursor film ahead macroscopic contact line of droplet spreading on solid substrate, J. Jpn. Soc. Microgravity Appl. 26 (JASMAC24, 日本マイクログラビティ応用学会第 24 回学術講演会, 10/19 -/21 2009, 沖縄), p.359, 2009. (oral)

[8] 上野一郎, 猪狩玄基, 温度勾配を有する基板上での先行薄膜形成過程, 第 47 回日本伝熱シンポジウム講演論文集 Vol. I, pp.46-47, 2010.

〔図書〕（計 1 件）

[1] Ueno, I., Watanabe, T. & Matsuya, T., Flow transition in free liquid film induced by thermocapillary effect, 7th IUTAM Symp. on Laminar- Turbulent Transition (Stockholm, Sweden, June 23-26 2009), IUTAM Bookseries 18, (Schlatter, P. & Henningson, D. S. eds.), pp.433-438, Springer (ISBN: 978-90-481-3722-0, e-ISBN: 978-90-481-3723-7), 2010.

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

なし

○取得状況（計 0 件）

なし

〔その他〕

内容（2）に関して、本研究成果をベースにフランス国立科学研究センター（CNRS）との共同研究が実現することとなった。