## 温度マランゴニ効果による液滴制御の Front-tracking シミュレーション Front-tracking Simulation of Drop Control by using Thermo-capillary Effect

() 安岡 卓哉, 関大院, 大阪府吹田市山手町 3-3-35, E-mail: k459167 @ kansai-u.ac.jp
山本 恭史, 関大, 大阪府吹田市山手町 3-3-35, E-mail: yamayasu @ kansai-u.ac.jp
植村 知正, 関大

Takuya Yasuoka, Kansai University Graduate School, 3-3-35, Yamate-cho, Suita, Osaka Yasufumi Yamamoto, Kansai University

Tomomasa Uemura, Kansai University

Thermo-capillary effect can be used for control of small drop. In this study a drop on a flat plate in uniform temperature gradient space was simulated by a Front-tracking method taking thermo-capillary effect into account. Tangential stress due to temperature gradient was represented naturally by the Front-tracking method. The calculated results with different viscosities were observed and compared with a model considering simplified force balance. Then it was confirmed that our front-tracking simulation can represent the motion of the drop induced toward colder part and simulated results with high viscosity reasonably agree with the simplified model. Furthermore in case of high viscosity, because flow field becomes very complex, not the simplified model but the present simulation may represent such complex flow field.

## 1. 緒言

固体平面上の微小液滴制御のモデリングやメカニズムの理解は 熱交換機やヒートパイプなどの設計,マイクロ流体工学などへの 学問的なアプローチにおいて重要な要素となっている.微小液滴 制御法としてエレクトロウェッティングや誘電泳動現象を利用し た技術があるが,これらの技術は高電圧操作や高濃度電解質を必 要とする.そこで,微小液滴において支配的となる界面張力の不 均質性により生じる温度マランゴニ効果を利用する制御法が近年 注目を浴びてきている.しかし,実験による液滴制御の解析は微 小スケールのため再現性と精度の高い結果を得るのは高度な技術 を要し,現象の本質を抽出するのは非常に困難である.そこで, 数値シミュレーションにより温度マランゴニ効果を考慮した流れ 場を再現できれば,その現象の理解や制御に必要な情報が詳細に 得られると期待できる.

Yamamoto らはこれまで、界面張力の影響を識別関数勾配によ る曲率評価の形式でなく、界面の接線方向に働く張力を直接評価 でき、3 つ以上の相が鋭角をなしで会合する場合でも張力バラン スを適切に評価可能な Front-tracking 法を開発してきた.本研究で は Yamamoto と Uemura の開発したコードに温度マランゴニ効果 のプロセスを組込み、液滴駆動のシミュレーションを行い、現象 を単純化した簡易理論モデルと比較し、パラメータが及ぼす影響 を検討する.

## 2. 計算手法

本研究では、Shin らによる Level Contour Reconstruction Method という Front-tracking 法の一種を使用する. Front-tracking 法は移動 変形する界面を含む混相流を1つの流体として扱うシミュレーシ ョン手法の一つである.3次元 Front-tracking 法では界面をマーカ ーで構成された微小な3角形要素で表し、マーカーを追跡するこ とで界面の移動を表現する.その3角形要素の位置および法線ベ クトルから各格子がどちらの流体中の格子であるかを表す指標関 数を計算し、密度ρ、粘度μを指標関数に応じて各相のものを与え る.界面張力は各3角形要素に働く接線方向張力を評価し、重み 関数を乗じて体積力に変換し格子に分配する.そして、温度マラ ンゴニ効果を表現するめに界面張力を温度の関数として与え、界 面の温度は3角形要素の中心で周辺格子の温度から重み関数を用 いて求めた.

## 3. 結果

計算対象は平らな固体壁面上のmmサイズの油滴とした. 温度 場は解かず、気液の相によらずx方向のみに線形に変化する温度場 Tを考えた. 表面張力は22.1-0.0647 [mN],静的接触角を50°とし た. 油は2種類の粘度µ=9.15×10<sup>-3</sup>, 8.998×10<sup>-4</sup> [Pas]で検討した. Fig.1 に液滴体積 6mm<sup>3</sup>の場合の各温度勾配における液滴速度の関 係を示す. 同図には簡略化したマランゴニ応力, 粘性摩擦, 濡れ 性による抵抗を考えた簡易理論モデルの結果も示している. 高粘 度のcase Aでは特に低温度勾配において簡易モデルとよく一致し ている.これにより、流動状態が複雑でない場合は、単純化した モデルでも液滴の速度を予測可能であることと、本シミュレーシ ョンの結果が妥当であることを示されている、と考える. case B では、速度場を観察すると流動が複雑であり、進行方向と逆向き の速度が発生している部分がある.このため、粘性摩擦が負にな るなど、速度分布が仮定からかけ離れており、液滴速度を負とし て算出してしまっている. 微小な液滴流動という一見単純な現象 であるが、条件によっては複雑な流動状態となり、その予測には 本研究のような数値シミュレーションが非常に有用であると考え られる.



(b) case B, high viscosity  $\mu$ =8.9989×10<sup>-4</sup> [Pa s] Fig.1 Relation between drop velocity and temperature gradient.