

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 横田 涼輔

本論文は「固体・液体基板上の微小液滴観察による高速界面現象の研究」と題し、 $\mu\text{m}$  径の液滴が固体や液体界面に吸着し、平衡状態に至るまでの過程を観察する手法を開発すること、およびその動的過程で起こる濡れ・蒸発・浸透現象について考察・検証することを目的として行われた研究の内容について記されている。

近年になって、 $\mu\text{m}$  スケールの流体现象を利用したマイクロフレイディクスと呼ばれる分野が急速に発展している。特に微小流体の中でも微小液滴技術は、微小体積の流体を容易に取り扱うことが可能であるなどの利点があることから、微小構造体の作成やプリンテッドエレクトロニクスなどその応用の場を広げている。一方でこのような微小流体に関する現象は非常に高速なものとなり、このためその観察には高い時間・空間分解能が必要となる。

本研究では、基板上のマイクロスケールの微小液滴をストロボ法により高速観察する手法を開発し、また開発した手法を用いて固体基板上に微小液滴が着弾し、濡れ・浸透・蒸発等の動的挙動の観察・解析を行った。また液面上における微小液滴の挙動を観察し、ここから動的界面張力などの物性値の定量評価を行う手法を開発した。微小液滴では流体運動を記述する支配方程式の非線形性や重力などの影響がないより理想的な運動が実現されるため、界面活性剤の吸着など分子ダイナミクスにともなう力学物性の高速の時間変化を追跡できることを示した。

本論文は全 7 章から構成されている。

第 1 章の「序論」では、本研究の背景と目的、および本論文の構成について述べている。

第 2 章の「ストロボ法を用いた基板上微小液滴観察手法」では、本研究において用いた液滴生成手法、および新規開発を行ったストロボ法を用いた基板上液滴の高分解能観察手法について述べられている。

第 3 章の「固体基板への着弾・濡れ現象」では、固体基板に液滴が着弾する様子を観察し、その様子から着弾直後の濡れ広がりや接触角の測定を行い、その結果から動的な濡れ現象を支配する物理的な要因について議論を行っている。界面活性剤水溶液の液滴の濡れを観察することで、その濡れ性に動的表面張力が大きく影響を及ぼしていることを明らかにした。さらに完全濡れを示す液体と基板材料の組み合わせにおいては、重力などの影響がないより理想的な系での Tanner 則を確認した。特に理想的な完全濡れすると考えられるゲル上の濡れ広がりにおいては、20 マイクロ秒という極めて初期領域での Tanner 則を確認することに成功している。

第 4 章の「固体基板上の液滴蒸発現象」では、基板上における微小液滴の蒸発挙動の観察を行っている。Hu により提案された理論と、実際に測定される後退接触角を用いた液滴形状の拘束条件を用いることで、蒸発現象の時間依存性を定量的に説明している。

第 5 章の「基板に対する液滴浸透現象」では、浸透性基板上における微小液滴の浸透挙動の観察を行っている。ここでは多孔質ガラス基板への液滴の浸透現象を基板に対して複数方向からの同時観察を行い、形状測定の精度を大きく向上させている。観察された液滴の浸透について新たな理論を考察し、実験結果を精度よく再現することに成功した。また、実際に印刷に用いられている紙への浸透における界面活性剤の効果を確認している。

第 6 章の「液面上における液滴の界面現象」では、微小液滴が非相溶性の液体基板(液面)に着弾し平衡形状に至るまでの動的過程を、上方・下方の 2 方向から同時に観察する手法を考案している。その手法により観察した液滴の力学的平衡形状から、液滴と基板液体との界面張力の測定を行った。また基板液体として界面活性剤水溶液を用いることで、動的界面張力の測定にも成功している。液滴の水平方向の力の釣り合いから、液面上に吸着した微小液滴の形状解析から、3 相の共存線に局在するエネルギーの存在を示唆する結果が示されている。

第 7 章の「結論」では、本論文の内容が簡潔にまとめられている。

以上のように、本研究では微小液滴の生成・制御システムにより作製した微小液滴の固体・液面基板上における動的界面挙動を、既存の手法に比してはるかに高い時間・空間分解能で観察する手法を確立した。また本観察手法を用いて、基板上における液滴の高速挙動の再現や物性測定を行うとことにより本手法の工学上の有用性を証明した。以上の通り本論文の成果は、今後さらに微小化・複雑化していく流体プロセスに対して有効な実験的観察手法を提供し、さらに高速の液体现象に対する重要な物理的知見を提供するものであることから物理工学への貢献も大きい。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。