

審査の結果の要旨

氏名 石綿 友樹

本論文は「微小液滴操作技術の開発とそのマイクロ物性測定への応用」と題し、微小液滴の生成・操作および観察技術を確立し、さらにこれを高時間分解能の液体物性計測法に応用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。

現在、インクジェット技術をはじめとする微小液滴の生成とその制御技術は、印刷以外にもさまざまな工業プロセスへの応用がはかられている。なかでもソフトな材料を用いて高次の構造と機能を有する微小構造体を形成する手法の一つとして、微小液滴の高速生成ならびにその空中操作によって自己組織化的に構造を作り上げる方法が研究されている。本論文では、微細構造体を形成していく上で必須となる液滴制御技術、およびこれを応用した液体物性計測技術の開発を行った結果について述べられている。

本論文は序論、第1～7章および結論から構成されている。

まず序論において、本研究の背景と目的、及び本論文の構成について述べている。

第1章は「微小液滴生成・観察技術」と題し、本研究で開発された微小液滴を生成する種々の方法について述べるとともに、本研究で用いた液滴の動的観察手法について解説を行っている。

第2章は「液滴制御技術 I -高粘度液滴の生成-」と題し、特に高粘性の液体試料について微小液滴を生成する技術が述べられている。現在産業上広く利用されているオンデマンド型インクジェットは利用できる液体に制限があり、特に粘度においては $10 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 程度に限られる。本章では、利用可能な液体の種類を拡張するために新たに開発された連続型インクジェット技術を用いた装置について詳述されている。さらに本装置を用いることで可能になった粘度 $100 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ までの液体の吐出現象の解析結果について述べられている。

第3章は「液滴制御技術 II -飛翔液滴の偏向制御-」と題し、空中を飛翔する微小液滴の操作技術について述べられている。特に液滴の飛翔を制御する手段として電場と誘電体の相互作用を利用し、液滴を非帯電かつ非接触で飛翔制御する装置について詳述されている。さらにこれらの原理により液滴の飛翔方向制御が可能であることを実験的に検証した結果についての解説がなされ、さらに誘電力の数値計算と実験結果が一致することが述べられている。また誘電制御方式の特徴として、液滴に及ぶ力が静電力に比べ局在すること、液滴の帯電の有無によらず制御が可能であることなどが示されている。

第4章では「液滴制御技術 III -飛翔液滴の加速・減速制御-」と題し、微小液滴の加速および減速技術について述べている。本章の実験では、2本の電極をそれぞれ液滴の飛翔経路を挟むように設置し、液滴が電極を通過する前に電圧を印加すると液滴は加速し、通過後に電圧を印加すると液滴は減速する様子が示された。さらにこの微小液滴

の加速・減速現象において、誘電力の数値計算と実験結果が一致することが述べられている。

第5章は「液滴制御技術 IV-液滴の変形-」と題し、空中において微小液滴に変形を誘起する技術について述べている。液滴の物性評価、液滴の状態を測定するためには液滴を変形させてその応答を見る方法が考えられるが、本章では液滴の変形に誘電相互作用を用い、二本の電極に挟まれた空間の電場により液滴を回転楕円体状に引き伸ばす実験について詳述されている。さらにこの変形を解析することにより高い時間分解能での物性測定が可能となることが示されている。

第6章は「液滴制御技術 V-液滴の安定回収-」と題し、生成された液滴を別の液体へ突入させることで減速・回収する手法について述べられている。本章の実験では、水性の液滴を油中に分散させるため液体ジェットを利用し、一度液滴を液体ジェットに入れることでセル内に安定に回収できる手法が提案されている。さらに液滴をジェットごとセルに回収した後に観察した顕微鏡画像により、破裂や衝突を回避して液滴が安定保存されていることが確認されている。

第7章は「インクジェットを用いた液体物性測定」と題し、表面への分子吸着により時間変化する表面張力の新たな測定法が提案され、その詳細が述べられている。

界面活性剤溶液は平衡状態において界面活性剤分子が表面に吸着するため表面張力が溶媒よりも低くなる。新たな表面を形成した場合には時間とともに界面活性剤の表面吸着が進行し、それに伴って表面張力が変化する。しかし従来の手法では1 msよりも短い時間領域における表面張力を測定することはできなかった。本章の実験では、本研究で開発された手法を用いて液滴を瞬間的に変形させ、変形した液滴が平衡状態へ戻る際の振動観察により表面張力の計測に成功している。これにより、本手法では新たな表面形成後100 μs での表面張力測定が可能であることが示され、またその測定の時間分解能が液滴の振動周期と同程度、すなわち10 μs 程度となることが実証されている。

以上の通り本研究の成果は微小液滴を扱う産業上の価値も大きく、また液体の高速表面界面現象の研究に有力な手法を提供したという点で学術上の波及効果も顕著であり、物理工学への貢献が大きい。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。