

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 下河 有司

本論文は「マイクロレオロジー計測手法の開発と超高精度流体物性測定に関する研究」と題し、特徴的な長さが μm 程度となる微小領域で流体を操作する技術を確認し、これを流体の物性計測に応用した研究について記されている。

現在、インクジェット技術やコーティング技術をはじめとする微小スケールの液体を制御する技術は、印刷や機能性フィルムの製造などさまざまな工業プロセスに応用されている。このような微小スケールの液体のレオロジー特性は、液体の表面物性に大きな影響を受ける。ところが従来の測定法は、固体と液体が接触するため局所的な物性測定には不向きなものが多かった。本論文の前半では、電場による誘電力を利用し、液体の表面に直接接触することなく表面張力および粘性を独立に測定できる手法を開発したことについて述べられている。

また、気体のように極めて粘性の低い流体も、近年のデバイスの小型化に伴って注目を集めるようになってきた。日常的なマクロなスケールでは無視できる気体の粘性も、レイノルズ数が小さい μm スケールの微小領域では、物体の運動に大きな影響を与える。このような微小系を対象とする研究、開発を行う際には数値シミュレーションだけに頼るのではなく、気体の粘性の実測値を用いた検討も行うことが望ましい。本論文の後半では、磁気浮上効果を利用して、気体の粘性を簡便に実測できる装置の開発について述べられている。

本論文は序論、第1～2章および結論から構成されている。

まず序論において、本研究全体の背景と目的について述べている。

第1章は「ナイフエッジ式電場ピックアップ法の開発」と題し、本研究で開発された液体の表面張力および粘性の測定手法について述べるとともに、本手法を高分子溶液の乾燥過程で表面に形成される高分子濃厚層の形成評価への応用について述べられている。1.1～1.3節では、従来の表面張力測定法である吊り板法と本研究の先行研究として開発された電場ピックアップ法について述べている。特に表面波理論を用いて、液体表面の応答が詳細に述べられている。1.4～1.7節では、本研究で開発された非接触測定手法の装置および測定原理が述べられている。特に液体表面の平衡状態への緩和時間を測定するだけでは、粘度と表面張力という2つの物性値を分離することが困難であることを指摘し、平衡状態における表面の形状を測定することによって表面張力の値だけを

独立に決定する方法について述べている。さらに、先行研究と同様、液体表面の平衡状態への緩和時間から、試料の粘度を求める方法についても述べられている。1.8節では、本手法の応用として、高分子溶液が乾燥する際に表面近傍に形成される高分子濃厚層の検出が述べられている。また、本手法で検出された応答と簡単な物理モデルの数値シミュレーション結果との比較を行っている。

第2章は「磁気浮上式 EMS 粘度計の開発」と題し、本研究で開発された気体の粘性測定手法について述べるとともに、本手法で測定した種々の気体の粘度と文献値との比較、混合気体の粘性測定、および低圧状態の空気の粘性測定を行った結果について述べられている。2.1～2.3 節では、従来の低粘性流体の粘性測定法について、また、本研究で開発した装置の原理となる EMS (Electro-Magnetically Spinning) 粘度計について述べている。2.4～2.9 節では、本研究で開発した気体の粘性測定手法について述べ、グラフィットの反磁性による磁気浮上効果に関する理論と回転子を駆動させ周囲の気体の粘性を検出する原理について解説がなされている。

2.10～2.11 節では、本手法で測定した種々の気体の粘度が文献値と一致することが述べられている。また、ヘリウムとネオンの混合気体の粘度を測定し、混合割合に対する粘度の変化が半経験的な混合則とよく一致することが示されている。

2.12～2.14 節では、低密度の気体の粘性測定について述べられ、低圧状態では粘性が圧力に比例するという測定結果が示されている。この実験結果は、低密度の気体では連続体近似が破綻し、分子の集合体として気体を捉える必要があるという事実を直接測定によって示している。また、Boltzmann 方程式から導出された粘度の表式で、広い圧力領域で実験結果を説明できることが述べられている。

以上の通り本研究の成果は、液体および気体の基本的物性である表面張力や粘性の新規の測定技術を開発し、流体の力学物性研究に有力な手法を提供したという点で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。