

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 松浦 有祐

本論文は「電磁回転式レオロジー計測法の開発と複雑流体計測への応用」と題し、遠隔からのトルク印加手法を用いることにより、新たなレオロジー計測を可能にするという目的で行われた研究の内容について記されている。

工業における流体プロセスの設計や製品評価にはレオロジーパラメータの計測が不可欠である。また近年のインクジェットのようなプロセスの微細化に伴い、1 mPa·s 以下の低粘度の流体の流動においても粘性が支配的となる状況が現れ、低粘度域の計測法の開発は重要な要素となっている。本論文では粘性のプロブとなる回転子に遠隔でトルクを印加するシステムを開発し、隔離された環境でのレオロジー計測法、特に低粘度計測法の開発について述べられている。

本論文は序論、第 1~4 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、本論文の構成について述べられている。

第 1 章は「四重極型 EMS 法の開発」と題し、従来の粘度計測法と遠隔駆動型粘度計である永久磁石型 EMS 粘度計について特徴を比較しながら解説を行うとともに、本論文で新しく開発した四重極型 EMS 法(QEMS)について述べられている。EMS 粘度計は遠隔駆動による試料汚染・装置汚染のない粘度計測法であり、特殊なサンプルについての計測が可能であることが述べられている。これに対し QEMS は電磁石を使用したトルク印加システムであり、粘弾性計測に必要な振動トルクを印加することができる。本章では QEMS の特性を述べるとともに、これを様々な試料に適用して粘度計測を行った結果について示されている。

第 2 章は「低粘性領域における計測精度低下とその改善方法」と題し、球回転型 EMS 粘度計における低粘度計測の精度向上について述べられている。EMS 粘度計において粘度決定精度を低下させる要因は、回転子に及ぼされる接触摩擦トルクと遠心力によって生じるサンプルの 2 次流れの効果であり、本章ではそれらの大きさが定量的に評価されている。Navier-Stokes 方程式における流体力学的相似を決定する無次元パラメータである Reynolds 数に着目し、回転子球の半径を考慮した粘性トルクの議論を行うとともに、トルクの Reynolds 数依存性を表す関数形を決定した。また、超音波加振を利用した摩擦トルクの低減を実験により確認し、加振による接触領域のダイナミクスを考察しており、実験結果についての理論的考察が述べられている。

第3章は「四重極型 EMS による動的粘弾性計測」と題し、第1章で開発した四重極型 EMS を用いて行った動的粘弾性の計測について述べられている。EMS 法による動的粘弾性計測は QEMS の開発により実施可能となり、計測法として大きなインパクトを与えるものである。本章前半では振動トルク印加と球の微小角回転検出について記され、後半ではひも状ミセル水溶液の動的粘弾性測定の結果について述べられている。ひも状ミセル水溶液の計測結果により本手法は EMS によって粘弾性スペクトルを高精度で測定できることが示された。また、動的粘弾性計測で考慮すべき運動量拡散について議論を行い、計測可能な周波数域がレオメータと同等であることが確認された。

第4章は「Disk 型 EMS によるフローカーブ計測」と題し、EMS 法を用いて粘度のせん断速度依存性を計測する手法について述べられている。第3章までの球回転式 EMS 粘度計測は特殊なサンプルに関する Newton 粘度、線形粘弾性を計測することを主な目的とした技術であるが、本章では非線形レオロジーである粘度曲線の計測を EMS 法により行うための新規の手法が提案されている。またパラレルプレート型レオメトリーにより粘度曲線を取得する計測法についても述べられ、さらに高分子溶液、血液、マイクロゲル分散系、ひも状ミセル水溶液などの各種試料についてシアニング粘度の計測を行って得られた帯域にわたる粘性スペクトルが示されている。特に、血液粘度の計測は従来のコーンプレート型レオメータでは装置汚染の問題により困難であり、本装置の医療分野での粘度計測応用という医用分野への応用可能性について示されている。

結論では本論文について簡潔にまとめられている。

以上のように、本研究では EMS 法による遠隔トルク印加方式を用いて装置汚染のない線形レオロジー計測法、非線形粘度計測法の開発を行い、従来の方法で計測困難なサンプルに関するレオロジー計測法を提供している。これは分子ダイナミクスを理解するための有効な手段であるレオロジーについて、新規の評価法の確立を行い、その適応領域を格段に拡大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。