HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on multi-timescale rheology of heterogeneous fluids by advancement of velocity-profiling-based rheometry [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	大家, 広平
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第15845号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/92144
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Kohei_Ohie_review.pdf (審査の要旨)

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　　氏名　大家　広平

審査担当者　主　査　准教授　田坂 裕司
副　査　教　授　村井 祐一
副　査　教　授　大島 伸行
副　査　教　授　渡部 正夫
副　査　教　授　田川 義之　（東京農工大学 大学院工学研究院）

学位論文題名

Study on multi-timescale rheology of heterogeneous fluids by advancement of velocity-profiling-based rheometry
(流動計測型レオメトリによる不均質流体のマルチタイムスケールレオロジーに関する研究)

乱流を含めた, ニュートン流体の複雑な流動が明らかにされつつある中で, 内部構造などから流体自体が複雑な流動物性を呈する, 複雑流体への注目が高まっている. マグマや地滑りにおける流動層, 高分子溶液, エマルション燃料, 流動食品など, 自然界や産業界に見られる流動はその多くが非ニュートン流体であり, その流れを理解・予測・制御するためには, 流動の定性的理解に加えて物性の定量評価が重要である. 物質の流動物性を記述する学問であるレオロジーは, 物性評価手法であるレオメトリの高度化とともに発展してきた. 厚さ 1mm 未満の薄い流体層に定常, あるいは振動回転を加えることで, 軸トルクの変化からレオロジー物性を評価する手法がこれまで用いられてきた. その手法はトルクのセンシングや回転の制御など, 高度に洗練される一方, 原理的に測定できない対象・条件が浮かび上がってきた. 混相流体に代表される不均質な流体がその代表例である. 流体工学への新たなニーズが高まる中で, レオロジー物性評価手法のパラダイムシフトが求められている.

本論文では, 著者の所属する研究室で開発された, 超音波スピニングレオメトリの高度化, 得られた物性の活用方法論, およびそれらの応用事例を提示することで, この問題に対する有力な解法が示されている. 計測法と計測技術を精査し, 安定な解析アルゴリズムを開発することでレオメトリの信頼性を向上させ, 理工学におけるいくつかの応用例に取り組むことで, 開発手法の実用性と計測限界を明らかにしている. 論文は, 序論と結論を含む 7 つの章で構成されている.2 章において, 超音波スピニングレオメトリの原理とこれまでに提案されている解析アルゴリズム, およびそれらの問題点と改善方法がまとめられた後,3 章から 6 章のそれぞれで, 経時変化を呈する物性評価の適用例, 取得したレオロジー物性の新たな表現方法, 物性を用いた流れの予測, および工業利用を想定したインラインレオメトリの提案がまとめられている. これらの成果は以下のように要約される.

(1) 超音波を用いた速度分布計測と, 従来のトルク計測とを組み合わせることで, 信頼性が高くかつ, 従来法に比べ広い適用範囲を有する計測法が提案された.

(2) 混相流体や高分子溶液は, 剪断に対する構造変化からその物性が単純なべき乗モデルで評価される場合が多く, 超音波スピニングレオメトリで得られた瞬時の粘度曲線から得られる, 係数 K と指数 n の時間変化として, 過渡的に変化するレオロジー物性を評価可能であることが示された. この方法論については, 食品の食べやすさ評価への応用が期待される.

(3) 異なる振動周波数に対し, 線形粘弾性解析により得られた粘性と弾性を, 周波数と歪み速度を軸とする二次元マップ上で表現することで, 歪み依存性を含めたレオロジー物性の振る舞いを効果的に表現できることが示された (レオロジーマッピング). 異なる高分子溶液を用いた応用例を通し, これまで定性的に説明されてきた物性領域が明らかにされた.
(4) レオロジーマッピングにより表現された物性を用いて, 実際に試験円筒内で生じている流れの再構成が可能であること, および, 工業的に広い用途がある円管内流れの予測が可能であることが示された.
(5) 超音波スピニングレオメトリの概念を時間変化する円管内流れに適用し, 円管半径方向への振動の位相差伝播を解析することで, レオロジー物性をインラインで計測する方法論が提案された. また, ずり減粘を持つ高分子溶液, および複雑な流体の代表としてのお粥を用いた検証実験により, 提案手法が適用可能であることが示された.

これを要するに, 本論文では超音波による流速分布計測と運動方程式を用いたレオロジー物性評価手法を高度化することで, 従来手法の適用範囲外であった不均質流体や物性の経時変化の取得を可能とし, また評価に留まらず得られた物性を用いた流れの予測を実現する方法論を確立した. この一連の研究開発は, 従来のレオメトリが持つ原理的欠陥を補完し, レオロジー理工学の可能性を拡大させることで, 流体工学の発展に大きく貢献するものである. よって, 著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める.