HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Velocity profiling based rheometry toward model-free characterization of non-Newtonian fluids [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	白鳥, 貴久
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11884号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58674
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Takahisa_Shiratori_review.pdf, 審査の要旨

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　白鳥 貴久

審査担当者　主　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　准教授　田坂 裕司
副　査　准教授　玉野 真司　（名古屋工業大学大学院工学研究科）

学位論文題名

Velocity profiling based rheometry toward model-free characterization of non-Newtonian fluids
(非ニュートン流体のモデルフリー物性評価のための速度分布計測に基づくレオメトリ)

非ニュートン流体および粘弾性流体の物性評価は, 産業分野での需要を背景に基礎研究の重要性が指摘されている. 化学工学においては高分子材料等の形成工程における品質制御への要求から材料の粘弾性物性評価法が開発されてきた. 食品加工学や生命科学などの分野でも安全管理や固体流体連成技術などで取り扱いが増えており, 汎用性と利便性の高い物性評価法への期待が高まっている. 今日, 定着しているレオメータではその利用に種々の拘束条件が課されている. 回転式レオメータでは内部流れがクエット流れとなることを前提とし, シアバンドなど特異な流れが発生する場合では極端な計測誤差を生ずる. 一方, 実験流体力学分野では, 流体機器の研究開発を支援する新世代ツールとして超音波流速分布計測法 (Ultrasonic Velocity Profiling, UVP) や粒子画像流速測定法 (Particle Imaging Velocimetry, PIV) が発展・普及した. 本研究論文は,PIV および UVP とレオロジー研究を融合し, 従来レオメータでは不可能であった瞬時物性評価や, 流体変形応答の定量可視化を実現している. 本研究の内容は以下の 6 章にまとめられている.

第 1 章においては, 本研究の背景を述べ, 研究目的を設定している. 粘弾性流体および非ニュートン流体の物性評価に関する先行研究を引用し, 速度分布計測を導入するメリットを説明している.

第 2 章では,UVP によって得られた時空間速度分布から, 流体の粘弾性応答の内部構造を可視化する手段について述べている. 実験体系として回転円筒内流れを選択し, スピンアップ, スピンダウン, 振動回転の 3 つの回転モードにおける速度分布を計測し, 物性由来の可視化結果の特徴について詳述している. このうち粘弾性によって誘発されるスピンダウン流れの逆流について, 流体粒子の動きや格子パターンの変形として再可視化し, 直観的な把握を可能としている. また, 弾性応力を発生させる流体のせん断変形分布と, 粘性応力を発生させるひずみ速度分布を同時可視化するなど, 粘弾性流体の応答を特徴づける可視化手法を提唱している.

第 3 章では, 従来型レオメータの機能を UVP で拡張する第一の対象として, 二重円筒間の定常流れ計測を提案し, この体系から流体粘度のひずみ速度依存性の計測を実施している. 冒頭で, 二重円筒間流れを採用する利点を運動量保存則の性質から説明し, その後, 計測誤差に対する耐性を考慮しながら速度分布情報からひずみ速度とせん断応力を取得する方法を提案している. この方法に基づいてレオロジー物理関係, すなわち流動曲線 (flow curve, レオロジー分野での通称) を得ている. さらに速度分布計測を用いる場合と既存レオメータでの流動曲線を比較し, 速度分布計測を用いる長

所と短所を明らかにしている. 特に速度分布計測で共通となる, ひずみ速度の計測誤差の拡大伝播特性について検討し, この対策として多項式を初めとする近似関数群の導入を試験し, 物性値データの誤差低減法を完成させている.

第 4 章では, 前の章で確立された速度分布計測型のレオメトリを, 非定常流れ用に拡張し, 特に粘弾性応答の定量評価を行う方法と成果について述べられている. 計測の体系として二重円筒間の非定常流れを選定し, これを PIV で計測している. 二重円筒間流れでは, 非定常流れでも実験情報を用いて運動量保存則を数値積分可能であることを示し, 非定常流れの応力分布を得る手法を構築している. この目的の達成にあたり, 数理的観点から二重円筒間流れが適切な体系であることと, 技術的観点から速度分布計測に PIV を用いる必要があることを論じている. 粘性応力はひずみ速度に依存し, 弾性応力はひずみに依存するという観点から, せん断応力, ひずみ速度, ひずみの 3 つの物理量の関係を図示することを提案し, この図を flow surface(流動曲面) と名づけている.Flow surface には, せん断応力がひずみに依存する領域と, ひずみ速度に依存する領域が示され, 流体の粘弾性物性の図式表現に成功している. さらに Flow surface データを利用した流れ場の再復元を実現する数値解析の方法と結果について述べられている.

第 5 章においては, 速度分布型レオメトリの応用事例として, 高濃度サスペンションの実効粘度が評価されている. 界面レオメータと速度分布計測を組み合わせて発展させることで, 不均質なサスペンションの流れの速度分布と実効粘度の同時計測に成功している.

第 6 章においては, 本研究の結論, 並びに速度分布計測を用いた物性評価における課題, 得られた物性の応用法についての見通しが述べられている.

これを要するに, 本論文では速度分布計測法, すなわち UVP および PIV を用いた非ニュートン流体の物性評価法が構築された. この成果は, レオロジーおよび流体工学における物質の物性評価に即効性があるだけでなく, 複雑物性を持つ産業液体の流れの予測法の高確度化をも可能としている. 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.