



Title	Study on Kinematic Rheometry Utilizing Ultrasonic Velocity Profiling [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	芳田, 泰基
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第13994号
Issue Date	2020-03-25
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/78308">http://hdl.handle.net/2115/78308</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
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	Taiki_Yoshida_review.pdf (審査の要旨)



[Instructions for use](#)

## 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 芳田泰基

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 准教授 隅田 育郎 (金沢大学理工学研究域地球社会基盤学系)

## 学位論文題名

Study on Kinematic Rheometry Utilizing Ultrasonic Velocity Profiling  
(超音波流速計測を用いた運動学的レオメトリの開発研究)

多種多様な化合物が生成される中、その流動や生成物の品質は経験則によって場当たりに制御・管理されている。これは、その流動物性(レオロジー)を評価する手法(レオメトリ)の信頼性が乏しいことに起因している。ラボレベルの分析に用いられるトルク式の市販レオメータは、高い計測精度を実現している。一方、計測確度の保証にはいくつかの仮定が満たされる必要があるが、多くの非ニュートン性流体ではそれが満たされないことが多い。最たる原因として、測定対象物質と回転子壁面との間での滑りや局所剪断層の形成、弾性的不安定性による影響などが考えられる。これらはすべて「流動」に起因する物である。一般的な市販レオメータのユーザーには認知されておらず、出力結果が盲信されている現状がある。非ニュートン性流体の挙動を直接計測しレオロジー物性の導出を試みる、新たな手段が求められている。

本論文では、この問題を解決する有力な手法として、速度分布計測と運動方程式に基づく新たなレオメトリ(Kinematic Rheometry)が提案されている。複雑流体のダイナミクスに対して、運動方程式と各種構成方程式を満たすようなレオロジー物性が逆算される。市販レオメータで十分に計測可能な、 $O(10^3 \text{ Pa}\cdot\text{s})$  以上の高粘性流体や  $O(10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s})$  以下の極低粘性流体を除いた範囲が、本手法が目指す適用範囲である。これにより、市販レオメータとの相補的な使用が想定される。流速計測法として、不透明流体から混相流体まで計測可能な超音波流速計測法(UVP)を利用することで、広い適用範囲が実現されている。全10章で構成される論文では、レオメトリの理論、速度分布計測結果が含むノイズの影響を緩和し理論を実用化するための方法論、得られたレオロジー物性の妥当性検証および確立した手法を用いて得られた流体物理の研究成果がまとめられている。それらは以下のように要約される。

- (1) 振動伝播の位相差から逆解析的に実効粘性を求める方法により、ゲル・ゾル界面を決定する降伏応力、擬塑性流体の粘度、粘弾性が発現する条件、混相流体の実効粘性を定量化することが可能である。
- (2) これまでの手法では見かけの降伏応力や見かけの粘性としか評価されていなかった、粘土懸濁液の降伏臨界せん断速度付近のレオロジー物性について、上記手法によりその変化をもたらす物理とともに異なる降伏現象に対する応力値が得られた。
- (3) 線形粘弾性解析を行う手法として、ノイズの影響を緩和できる周波数空間での解析手法が提案

された。この手法を市販レオメータと比較・検証した結果、その計測妥当性ととも、現実には市販レオメータでは正しく計測できていないレオロジー物性の範囲を補えることが示された。

(4) 上記線形粘弾性解析を用いることで、流体緩和時間に起因する粒子配列現象が実効的粘弾性に与える変調効果や、ゲル状流動食品の食べやすさとレオロジー物性の関係について明らかとなった。これらは、市販レオメータでは計測不可能な対象である。

(5) 上記の二つの手法では、最小で一周期分の振動による流速データから物性の推定が可能であり、瞬時のフローカーブを得ることができる。これにより、チキソトロピー性流体におけるレオロジー物性の経時変化が評価された。

(6) 産業プラントに応用できるレオメトリとして、非侵襲で管内のレオロジー物性計測が可能な運動方程式に基づくレオメトリのアルゴリズムが提案された。解析解による流速変動からレオロジー評価を逆算的に行い、そのアルゴリズムの妥当性が検証された。

これを要するに、本論文では超音波速度分布計測を用いたレオメトリが産業・科学の両面で実用に足る方法として確立され、それを用いることで新たな流体科学の知見が得られることが示されている。この成果は、既存のレオロジー物性の評価方法を一新し、レオロジーの理解に飛躍的な進歩を与えるととも、食品など複雑流体の物性計測を介して流体工学およびその産業利用へ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。