

複雑な流動・輸送現象の解明・予測・制御に向けた新しい流体科学
2021年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

田坂 裕司

北海道大学 大学院工学研究院
准教授

混相／複雑流体のレオロジー物性計測を基軸とした流体科学の創成

研究成果の概要

気泡や粒子を含む混相流体や高分子溶液など、非ニュートン性を呈する複雑流体の流動について、レオロジー物性評価を基軸として方法論の構築と流れの評価の両面から研究を進めている。

これまでに開発を続けてきた超音波スピニングレオメトリ(USR)は、流れ計測と運動方程式を基にした解析により、通常用いられるトルク式レオメータでは評価が困難な複雑流体のレオロジー物性評価を可能にできた。「さきがけ」の研究では、この手法で得られた物性を表現するレオロジーマップから、データ駆動型の構成則を抽出し、複雑流体の流れ予測や流れの安定性解析への応用を検討している。2年次の研究では、非定常剪断下における気泡懸濁液のレオロジー物性評価について、これまで明らかにされていなかった、デボラ数に相当する動的キャピラリー数が1前後の領域での粘度曲線を取得した。また、過去に導出されていたエマルションの構成方程式を気泡懸濁液に適用し、微小振幅の条件下で数値的に導出したレオロジーマップが、USRで得られた結果と良く一致することを示した。

粒子懸濁液のUSR計測結果では、非定常剪断下特有の現象として、粒子径に依存したずり減粘の発現が示された。その要因として、有限サイズの粒子が持つ、非定常剪断に対する回転位相差による粘性散逸の増加が挙げられる。さらに、トルク式レオメータによりナノ粒子懸濁液の基礎的な粘度曲線評価を行い、2桁以上の粘度増加と非常に強いずり減粘を定量化した。

計測手法として、トルク計測と速度分布計測を組み合わせた粘度評価手法を実現する装置を作成し、これを用いたお粥の粘度曲線評価から、管内流れにおけるポンプの性能曲線予測を行った。結果はループでの計測結果と良く一致し、高い予測性能を持つことが示された¹⁾。流動を評価する流れのプラットフォームとして Hele-Shaw セル内の熱対流を採り上げ、Hele-Shaw 近似の破綻に伴う特徴的な流動パターンの発現を観察した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Flow prediction of complex fluids in a circular pipe by utilizing a velocity-profiling-assisted rheometer” Industrial and Engineering Chemistry Research, Vol. 61, pp. 18157-18164 (2022)
- 2) Rheological characterization and flow reconstruction of polyvinylpyrrolidone aqueous solution by means of velocity profiling-based rheometry" Experiments in Fluids, Vol. 63, 135 (2022)
- 3) “In situ measurement of instantaneous viscosity curve of fluids in a reserve tank" Industrial and Engineering Chemistry Research, Vol. 61, pp. 11579 – 11588 (2022)