

令和 4 年 5 月 28 日現在

機関番号：10101

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B））

研究期間：2018～2021

課題番号：18KK0105

研究課題名（和文）超音波ドップラーレオメトリーのオンライン化技術の共同開発

研究課題名（英文）Development of online ultrasonic Doppler rheometry

研究代表者

村井 祐一（Murai, Yuichi）

北海道大学・工学研究院・教授

研究者番号：80273001

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 8,900,000円

研究成果の概要（和文）：本課題ではオンラインレオメトリーを開発・実現するために、スイス連邦工科大学チューリッヒ校(ETH)との共同開発を行ってきた。またEPFL（スイス連邦工科大学ローザンヌ校）、中国・天津大学とも間接的な共同研究を進めた。粘度のレオロジーについてはACSに、超音波スピニングレオメトリーの機能拡張についてはExp Fluidsに、管内脈動流の粘度計測はIEDRに掲載された。加えて超音波ドップラー法による混相流の計測技術の開発についてIJMFに、日本レオロジー学会国際誌に、それぞれ review articleとして掲載された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

様々な組成をもつ非ニュートン流体や混相流の粘度を瞬時に明らかにする技術は、工業生産現場、食品工業、廃棄物など環境対応技術において有益であり、本課題では超音波によってそのようなリアルタイム物性計測技術を開発することに注力した。スイス連邦工科大学チューリッヒ校(ETH)との共同開発により、流動する材料の物理モデルを構築し、超音波による速度分布や組成分布の計測と連結した汎用技術を構築した。特に粘土質の物質、組成に空間分布をもつ食品の流れ、内部に界面を有する物質のレオロジー物性を展開する方法論が完成した。

研究成果の概要（英文）：In this project, collaborative research with ETHZ, PEFL and Tianjin university has been promoted. As results, five papers has been published: rheology of cray in ACS, extension of ultrasonic spinning rheometry in Exp Fluids, Pulsatile pipe flow rheometry in IEDR, review article on ultrasonic measurement of multiphase flow in IJMF, and review of spinning rheometry in Japan Rheology Society.

研究分野：流体力学

キーワード：レオロジー 超音波 非ニュートン流体 粘土 食品 混相流 せん断流れ ドップラー法

1. 研究開始当初の背景

流体力学はレオロジー(物質変形学の総称)の中の一部でしかない。複雑な物質では数世紀に渡って体系化された流体力学でも対象外となる。物性値が時空間で自由に変動する流れでは、最新の数値流体力学も第一原理からして破綻する。物性を定数として予め入力する操作が必須のためである。非ニュートン流動の予測コードは、信頼ある物性データベースがなければ成立しない。大多数の流体力学側の研究者は、現実離れた理想的なレオロジーモデルで学術研究をしているのが現状であろう。他方、物質科学側の研究者は、物質をミクロに解読しつづける道へと進む。本課題では、独自開発した超音波ドップラーレオメトリーで、取得される物性値データベースを、時間差なしの活きたライブラリとして制御に活かすことを目指す。現場で短時間に問題解決を図る新技術を生み出すためである。ライブラリの解析に機械学習など IT の手段を導入し、複雑物質流動に対する流体力学の守備範囲を拡大させる。

共同研究パートナーであるスイス連邦工科大学(ETH)の Windhab 教授は、実験流体力学分野で AI の手段を導入する価値が最も高いのはレオロジーだろうと言う。この展開性に期待し、国際共同研究強化のカテゴリーで ETH との共同研究を計画することとなった。物質の種類ごとに専門領域が細分化されていくような今日までのレオロジー研究の潮流を断ち切るという共通の目標で意気投合した。個別のレオロジーデータを取得してから流動解析に繋げるというシークエンスを破棄し、現場で稼働中のシステムに装着し、実時間で物性分布と流動の相互関係を定量可視化し、直ちに流動制御に活かす、というシステム設計構想である。これを可能にするのが掲題とした世界初のオンラインレオメトリーの開発である。これは学術会議マスタープランの1つにも挙げられた計測・予測・制御の3体同化に他ならない。

2. 研究の目的

本課題のグループは、超音波による複雑流体計測技術で、実験流体力学の国際水準を引き上げる役割を担ってきた。混相流計測技術国際会議(ISMTMF)や超音波ドップラー国際会議(ISUD)の主催で、世界の開発者コミュニティを先導している。その背景には、要素還元主義の行き詰まりからの脱却がある。マクロ現象を多数のミクロ要素に分解して詳細に調べ尽くすばかりで、そこから得られた多数の知見を元のマクロスケールの制御に活用できていないという反省がある。多様な物質の素性を扱うレオロジーでは、なおのこと顕著にその現況を許している。この問題の解決の一つが、流速分布から逆算して物性を計測するレオメトリーである。不透明物質の内部物性を空間分布として取り出すことが出来る超音波ドップラーレオメトリー(略称 UDR)である。UDR では、取得された物性値をモデルや数式で書き下す作業は省略可能で、逐次累積されるデータをそのまま予測と制御に活かすオンライン型のレオメトリーを実現可能とする。従来は局所粘度、複素粘度、非ニュートン係数、弾性係数、降伏応力などを個別に定式化する専門家による作業が必要であったが、本技術ではそれを1つの立体マップとして扱うことで、計測、予測、制御をリアルタイムで一体化する。

3. 研究の方法

代表者の村井は、ETH の Windhab 教授と共同で、超音波ドップラー流速分布計(UVP)で取得される流速分布と、レオロジー構成モデル方程式の数値解分布をデータ同化する解析手法を開発する。村井が同化アルゴリズムを開発し、Windhab が学生達の支援を受けて流動食品評価を題材に試験する。分担者の朴は、高分解能型の超音波エコーグラフィで、ETH の博士研究員と手を組む。組成空間分布の計測技術の開発のためである。熊谷は、ETH の Fischer 教授が開発した全自動制御型の界面クエットレオメータ(ICR)を、超音波ドップラーレオメトリー(UDR)と通信で連結し、ビッグデータ化に適した物質の多変数応力特性の辞書作成システムを開発する。以上の3つを並列に進めることで、個々の物質の流速・組成・応力の全てが時空間分布データベースとして格納可能になる。物質を変えた実験を反復することで、レオロジー応答の生データが数秒毎に蓄積され1年で莫大な容量のビッグデータとなる。計測と予測が双方向に融合した情報処理の手段を導入する原理から、予測・制御のスイッチを直ちに実現する。さらに機械学習はレオロジー特性を自動要素分解し、構成方程式を生成させる。

以上は当初計画において議論された研究の方法である。これに対して研究を進める過程で、さらに優先度の高い開発対象が生じ、成果の取得の近道を策定した。そのため以下のように研究の方法は改良された。代表者の村井は、既の実績のある超音波ドップラーレオメトリー(UDR)を、2つの異なる需要に対応した開発を進めた。一つは降伏応力や粘弾性を有する物質に対して広いせん断歪み周波数帯域でデータを取得可能な、新たな超音波スピニングレオメトリー(USR)の開発を進めた。もう一つは渦や剥離など2次元以上の流体運動を伴う流れ場の速度分布から、圧力分布を含めた応力分布を時空間分布として計測する超音波二次元レオメトリー(UTR)である。熊谷は、非ニュートン流体中で運動する固体粒子や変形粒子など界面を有する物質のレオロジーについて、朴はマイクロチャネルや速度境界層など高せん断歪み流れ中の流動を超音波エコーグラフィにより計測する技術を開発することとなった。

4. 研究成果

論文発表欄に掲載のとおり本課題からの成果は多数の国際英文誌に掲載された。このうち代表的な成果について以下に記す。

(1) 多次元流れの圧力と粘度の同時測定法の開発

円柱まわりの流れの速度ベクトル分布の計測結果から、圧力と粘度の空間分布を測定する実験データ解析スキームを提案した。テストケースとして円柱まわりのシアニング液体(せん断歪み速度の増加により粘度が低下する流体)の流れを計測した。図1はPIVによって取得された瞬時速度ベクトル分布ならびに運動エネルギー分布、渦度分布、歪み速度分布である。ニュートン流体の場合ではポアソン方程式から圧力分布を推定することが出来るが、非ニュートン流体ではポアソン方程式に粘度の空間微分項が多数出現し、圧力はポアソン方程式の通常角解法では数値不安定に陥る。そのため運動量保存方程式に戻って圧力勾配ベクトル分布を出すことで、円柱後流の圧力低下が正常に取得されることを見出した。この結果、図2に示すように、圧力、粘度、運動エネルギーの3つの独立スカラー変数が同時に取得され、そこから渦運動と粘度の相関など2次元レオロジー流れとしてのダイナミクスを明らかにするツールが完成した。ただし成功したケースは対象とする流れ場において粘度の変化率が1000% (1桁)以内の場合であり、これ以上大きなダイナミックレンジを有する場合は、運動量保存方程式からの圧力と粘度の同時推定は偏微分方程式の型が楕円型から双曲型に転移するため、そのような強結合にあるレオロジー流れは今後の課題であると認識された。

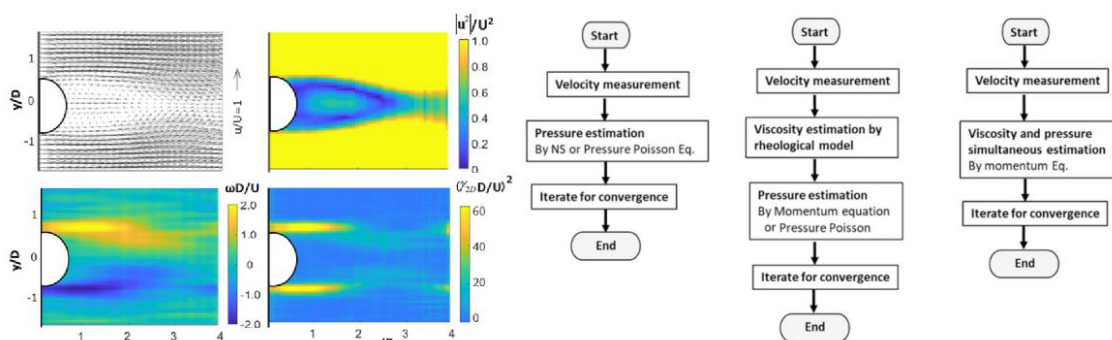


図1 シアニング流体における円柱後流の速度ベクトル分布と解析スキーム

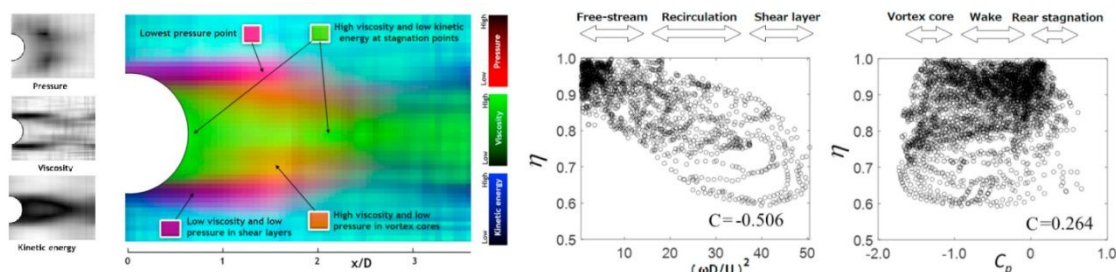


図2 シアニング流体の後流せん断流における圧力と粘度のカップリング

本成果の詳細は以下の論文に掲載されている。

- [1] N.Tiwari, Y.Murai, T.Tasaka, Pressure field estimation from ultrasound Doppler velocity profiler for vortex-shedding flows. Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 67, pp. 23-32 (2019)
- [2] N.Tiwari, Y.Tasaka, Y.Murai, PIV-based estimation of viscosity and pressure fields for a steady pseudoplastic flow. Flow Measurement and Instrumentation, Vol.77, No.101852 (2021)
- [3] N.Tiwari, Y.Murai, Ultrasonic velocity profiler applied to explore viscosity-pressure fields and their coupling in inelastic shear thinning vortex streets. Experiments in Fluids, Vol. 62, No. 185 (2021)

(2) 超音波スピニングレオメトリーの汎用化と機能拡張

超音波スピニングレオメトリー(Ultrasound Spinning Rheometry, USR)は、超音波ドップラー流速分布測定法の原理をレオロジー物性計測に展開したツールであり、本課題期間に入る前に多数の論文で発表され確立した手法となった。これに対して本課題ではUSRを混相流や粘弾性流体用に拡張する技術を開発した。

図3は粘弾性流体中に固体微粒子を高濃度に懸濁した場合のレオロジー測定の例である。液体は強い粘弾性をもつPAMで、そこに固体粒子が分散することで実効粘度がどのように変化するかを計測した。その結果、実効粘度の上昇はニュートン流体中の場合に比べ大幅に抑制されることが判明した。これは固体微粒子が粘弾性流体中でせん断を受けるとき、粒子どうしが流線方向に引っ張りを受けて縞模様上に配向するためであることが突き止められた。この成果は、流体物理の英文誌 Physics of Fluids に掲載され、Editor's Choiceとして同誌の表紙に紹介された。

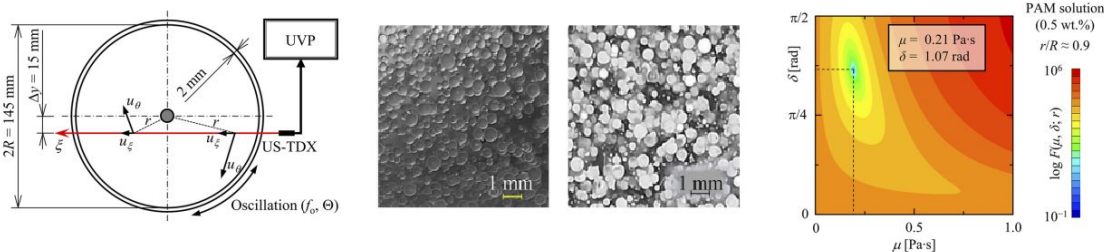


図3 固体粒子を懸濁した粘弾性流体の実効粘度の計測～特殊な粘度上昇機構の究明

図4は粘弾性流体に振動せん断を与え、その振動周波数に依存した実効粘度が発現することをUSRで捕らえたものである。粘度がせん断歪み速度だけでなく振動せん断周波数に依存することから、2軸でのレオロジー表現、つまりレオロジーマッピングとしてUSRの機能拡張を実現することが出来た。この成果は、複雑物質に複数のレオロジー上の時定数をもつとき有用であり、この方法論は食品、化粧品、生体などの問題解決に向けて外部との共同研究に発展した。

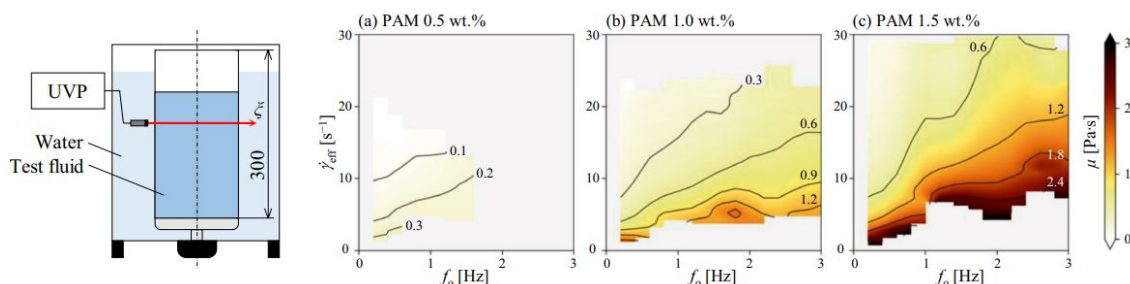


図4 粘弾性流体の粘度と弾性率の周波数依存性の計測～レオロジーマッピングの提唱

本成果の詳細は以下の論文に掲載されている。

- [1] T.Yoshida, Y.Tasaka, Y.Murai, Efficacy assessments in ultrasonic spinning rheometry: linear viscoelastic analysis on non-Newtonian fluids. *Journal of Rheology*, Vol. 63, No. 503 (2019)
- [2] T.Yoshida, Y.Tasaka, Y.Murai, Effective viscoelasticity of non-Newtonian fluids modulated by large-spherical particles aligned under unsteady shear. *Physics of Fluids*, Vol. 31, No. 103304 (2019)
- [3] T.Yoshida, Y.Tasaka, P.Fischer, Y.Murai, Time-dependent viscoelastic characteristics of montmorillonite dispersion examined by ultrasonic spinning rheometry. *Applied Clay Science*, Vol. 217, No. 106395 (2022)
- [4] K.Ohie, T.Yoshida, Y.Tasaka, Y.Murai, Effective rheology mapping for characterizing polymer solutions utilizing ultrasonic spinning rheometry. *Experiments in Fluids*, Vol. 63, No. 40 (2022)
- [5] T.Yoshida, Y.Tasaka, K.Ohie, Y.Murai, Overview of ultrasonic spinning rheometry: Application to complex fluids (Invited Review). *Nihon Rheorogi Gakkaishi*, Vol. 50, No.1, pp.3-7(2022)

(3) 複雑物質のせん断流況を測定する超音波ドップラー法の開発

複雑物質におけるレオロジーはその相分布とともに同時計測されることで、初めて基礎物性の判明に至る。そこで超音波ドップラーレオメトリ(USR)において、超音波パルスに含まれる信号から相分布も取得する技術を開発した。

図5は狭いチャンネルを高速で通過するマイクロバブルを計測したものである。気泡の体積運動共鳴周波数より1桁高い周波数の超音波では、音速が液体の音速のみに依存しつつ、パルスの位相がボイド率によって変化することを利用した。その結果、マイクロバブルの直径とボイド率を1回のパルス照射だけで計測することを可能とした。

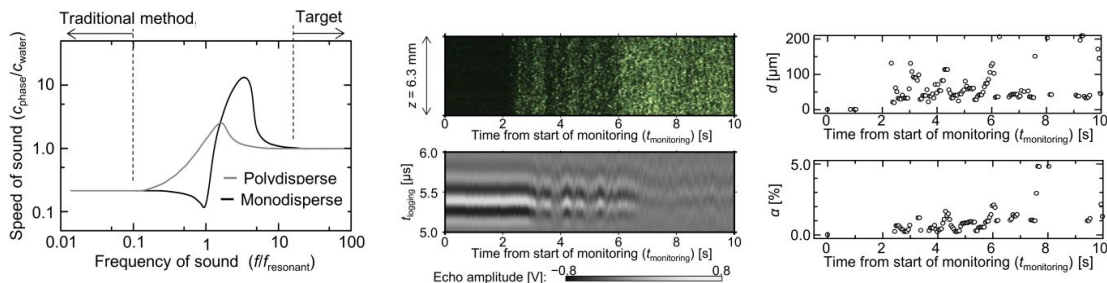


図5 狭い隙間を通過するマイクロバブルの超共振点帯域での超音波エコグラフィ計測

図6は固体微粒子によって密度上昇した流体層が重力によって水平に伝播する乱泥流(turbidity current)を計測したものである。この計測では乱流レオロジーとして3つの独立なせん

断応力を同時測定するシステムを開発した。その結果、乱泥流が低摩擦で長距離に渡って自然伝搬する原因が、密度境界層内で発現する負のレイノルズせん断応力の発生にあることを明らかにした。以上の結果はUDRを層流のみならず乱流条件での評価を可能にするものとして、化学工業や回転機械軸受けの評価用に応用され始めている。

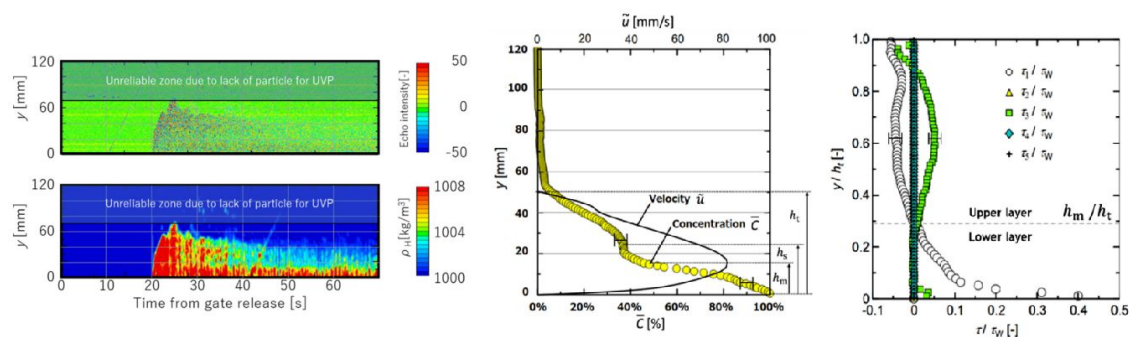


図6 乱泥流における粒子濃度と速度分布，乱流せん断応力の超音波パルス計測

本成果の詳細は以下の論文に掲載されている。

- [1] X.Shi, C.Tan, F.Dong, Y.Murai, Oil-gas-water three-phase flow characterization and velocity measurement based on time-frequency decomposition. International Journal of Multiphase Flow, Vol. 111, pp.219-231 (2019)
- [2] H.J.Park, Y.Tasaka, Y.Murai, Bubbly drag reduction investigated by time-resolved ultrasonic pulse echography for liquid films creeping inside a turbulent boundary layer. Experimental Thermal and Fluid Science, Vol.103, pp.66-77 (2019)
- [3] H.Park, S.Akasaka, Y.Tasaka, Y.Murai, Monitoring of void fraction and bubble size in narrow-channel bubbly-flows using ultrasonic pulses with a super bubble-resonant frequency. IEEE Sensors Journal, Vol. 21, Issue 1, pp.273-283 (2021)
- [4] J.Hitomi, S.Nomura, Y.Murai, D.C.Giovanni, Y.Tasaka, Y.Takeda, H.J.Park, H.Sakaguchi, Measurement of the inner structure of turbidity currents by ultrasound velocity profiling. International Journal of Multiphase Flow, Vol.136, No.10340(2021)
- [5] C.Tan, Y.Murai, W.Liu, Y.Tasaka, F.Dong, Y.Takeda, Ultrasonic Doppler technique for applications in multiphase flow: a review. International Journal of Multiphase Flow, Vol. 144, No. 103811 (2021)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 大家広平, 芳田泰基, 朴炫珍, 田坂裕司, 村井祐一	4. 巻 86-890
2. 論文標題 超音波スピレオメトリーを用いた過渡的变化を伴う実効粘度の評価（分離を伴う水油混合液への適用）	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本機械学会論文	6. 最初と最後の頁 20-00242
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/transjsme.20-00242	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 N.R. Sgreva, A.Davaille, I.Kumagai, K. Kurita	4. 巻 284
2. 論文標題 Interaction between a falling sphere and the structure of a non-Newtonian yield-stress fluid	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 104355
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jnnfm.2020.104355	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 N.Tiwari, Y.Tasaka, Y.Murai	4. 巻 77
2. 論文標題 PIV-based estimation of viscosity and pressure fields for a steady pseudoplastic flow	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Flow Measurement and Instrumentation	6. 最初と最後の頁 101852
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.flowmeasinst.2020.101852	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 S.Nomura, J.Hitomi, Y.Murai, D.C.Giovanni, Y.Tasaka, Y.Takeda, H.J.Park, H.Sakaguchi	4. 巻 136
2. 論文標題 Measurement of the inner structure of turbidity currents by ultrasound velocity profiling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Multiphase Flow	6. 最初と最後の頁 10340
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2020.103540	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 村井祐一, 田坂裕司, 朴 炫珍	4. 巻 20
2. 論文標題 PIVによる圧力場計測の風洞実験・水槽実験への応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 実験力学	6. 最初と最後の頁 87-94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11395/jjsem.20.87	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 芳田泰基, 田坂裕司, 大家広平, 村井祐一	4. 巻 34
2. 論文標題 超音波スピニングレオメトリによる混相流体のレオロジー試験	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 混相流	6. 最初と最後の頁 334-341
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3811/jjmf.2020.T009	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 X.Shi, C.Tan, F.Dong, Y.Murai	4. 巻 111
2. 論文標題 Oil-gas-water three-phase flow characterization and velocity measurement based on time-frequency decomposition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Multiphase Flow	6. 最初と最後の頁 219-231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2018.11.006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 H.J.Park, Y.Tasaka, Y.Murai	4. 巻 103
2. 論文標題 Bubbly drag reduction investigated by time-resolved ultrasonic pulse echography for liquid films creeping inside a turbulent boundary layer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Experimental Thermal and Fluid Science	6. 最初と最後の頁 66-77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.expthermflusci.2018.12.025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T.Yoshida, Y.Tasaka, Y.Murai	4. 巻 63
2. 論文標題 Efficacy assessments in ultrasonic spinning rheometry: linear viscoelastic analysis on non-Newtonian fluids	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Rheology	6. 最初と最後の頁 503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1122/1.5086986	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T.Yoshida, Y.Tasaka, Y.Murai	4. 巻 31
2. 論文標題 Effective viscoelasticity of non-Newtonian fluids modulated by large-spherical particles aligned under unsteady shear	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics of Fluids	6. 最初と最後の頁 103304
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5119335	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 A.Garg, C.Shrivastava, Y.Murai, E.J.Windhab	4. 巻 31
2. 論文標題 Impact of air flow on the heat transfer conditions inside an open cavity characterized using particle imaging velocimetry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics of Fluids	6. 最初と最後の頁 101109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5122800@phf.2019.FAF2019.issue-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 村井祐一, 田坂裕司, 朴炫珍	4. 巻 39
2. 論文標題 気液二相乱流の超音波モニタリング	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 可視化情報	6. 最初と最後の頁 11-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 田坂裕司, 芳田泰基, 村井祐一	4. 巻 38
2. 論文標題 超音波流速分布計測を用いた複雑流体のレオロジー物性評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ながれ	6. 最初と最後の頁 283-290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 村井祐一	4. 巻 47
2. 論文標題 複雑不規則流動解析のための計測と予測の融合ツール	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ターボ機械協会誌	6. 最初と最後の頁 50-56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tiwari Neetu, Tasaka Yuji, Murai Yuichi	4. 巻 67
2. 論文標題 Pressure field estimation from ultrasound Doppler velocity profiler for vortex-shedding flows	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Flow Measurement and Instrumentation	6. 最初と最後の頁 23 ~ 32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.flowmeasinst.2019.03.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kitagawa Atsuhide, Denissenko Petr, Murai Yuichi	4. 巻 104
2. 論文標題 Behavior of bubbles moving along horizontal flat plates with different surface wettability	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Experimental Thermal and Fluid Science	6. 最初と最後の頁 141 ~ 152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.expthermflusci.2019.02.017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Park Hyun Jin, Tasaka Yuji, Murai Yuichi	4. 巻 103
2. 論文標題 Bubbly drag reduction investigated by time-resolved ultrasonic pulse echography for liquid films creeping inside a turbulent boundary layer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Experimental Thermal and Fluid Science	6. 最初と最後の頁 66 ~ 77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.expthermflusci.2018.12.025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akashi Megumi, Yanagisawa Takatoshi, Tasaka Yuji, Vogt Tobias, Murai Yuichi, Eckert Sven	4. 巻 4
2. 論文標題 Transition from convection rolls to large-scale cellular structures in turbulent Rayleigh-Benard convection in a liquid metal layer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 33501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevFluids.4.033501	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計37件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 大家広平, 芳田泰基, 朴炫珍, 田坂裕司, 村井祐一
2. 発表標題 レオロジーマップによる高分子溶液の多角的粘弾性評価
3. 学会等名 日本化学工学会第86年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田坂裕司, 芳田泰基, 大家広平, 村井祐一
2. 発表標題 超音波流速分布計測による過渡的レオロジー物性の評価
3. 学会等名 日本化学工学会第86年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 N. Tiwari, Y. Tasaka, Y. Murai
2. 発表標題 Ultrasonic Doppler velocity profiler (UVP) based pressure field estimation in shear- thinning fluid flows
3. 学会等名 17th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 N. Tiwari, Y. Murai
2. 発表標題 Improvement of Pressure Field Estimated from PIV Data by Irrotational Correction Schemes Based on Helmholtz Vector Decomposition
3. 学会等名 17th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田健人, Lucas Grob, 朴炫珍, 田坂裕司, 村井祐一
2. 発表標題 乱流境界層構造の計測に特化したカラーPIVシステムの開発
3. 学会等名 機械学会北海道支部第57回講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大家広平, 芳田泰基, 朴炫珍, 田坂裕司, 村井祐一
2. 発表標題 超音波スピニングレオメトリを用いた粘弾性流体の拡張表現
3. 学会等名 流体力学会年会2020講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大家広平, 芳田泰基, 朴炫珍, 田坂裕司, 村井祐一
2. 発表標題 超音波スピニングレオメトリを用いた水油混合液の分離過程における実効粘度評価
3. 学会等名 日本機械学会 第98期流体工学部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田健人, 朴炫珍, 田坂裕司, 村井祐一
2. 発表標題 チョコレート冷却プロセスにおける境界層内層構造の計測
3. 学会等名 日本機械学会 第98期流体工学部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田坂裕司, 芳田泰基, 村井祐一
2. 発表標題 超音波流速分布計測によるインラインレオメータの実用性検証
3. 学会等名 日本機械学会 第98期流体工学部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 芳田泰基, 田坂裕司, 村井祐一
2. 発表標題 非定常剪断下における分散粒子を含む非ニュートン流体の実効粘弾性
3. 学会等名 日本機械学会 第98期流体工学部門講演会
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 T.Yoshida, Y.Tasaka, Y.Murai
2 . 発表標題 Rheological evaluations and capability assessments of ultrasonic spinning rheometry for non-Newtonian fluids
3 . 学会等名 The Annual European Rheology Conference 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 N.Tiwari, Y.Tasaka, Y.Murai
2 . 発表標題 Estimation of pressure field in shear thinning fluid flows based on ultrasound velocity profiler applied to vortex shedding flows
3 . 学会等名 8th International Symposium on Food Rheology and Structure (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T.Yoshida, Y.Tasaka, Y.Murai
2 . 発表標題 Rheological and inner structural assessments for complex materials using ultrasonic spinning rheometry
3 . 学会等名 8th International Symposium on Food Rheology and Structure (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y.Murai, N.Tiwari, H.J.Park, Y.Tasaka
2 . 発表標題 PIV-based pressure and stress field measurement for non-Newtonian flow fields
3 . 学会等名 13th Int. Symposium on Particle Image Velocimetry (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 S.Yamagishi, H.Park, Y.Tasaka, Y.Murai
2. 発表標題 Particle tracking rheometry for evaluating momentum transfer mechanism of interfacial particulate flows
3. 学会等名 11th International Symposium on Measurement Techniques for Multiphase Flows (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y.Murai, S.Akasaka, HJ.Park, Yuji Tasaka
2. 発表標題 Ultrasound pulse imaging of highly turbulent bubbly flows
3. 学会等名 11th International Symposium on Measurement Techniques for Multiphase Flows (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田坂裕司, 芳田泰基, 村井祐一
2. 発表標題 超音波を用いた非侵襲インラインレオメータ
3. 学会等名 日本機械学会 第97期 流体工学部門 講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村井祐一
2. 発表標題 ファインバブルが見せる複素粘度 ~ そのメカニズムと産業応用事例
3. 学会等名 第5回ファインバブル学会連合シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村井祐一
2. 発表標題 流体機器のためのCFDと実験のデータ融合設計
3. 学会等名 日本機械学会設計工学部門講演会1DCAE・MBDシンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村井祐一
2. 発表標題 計測・予測・制御の同化技術が創出する新しい道具
3. 学会等名 日本学術会議機械工学委員会機械工学の将来展望分科会公開シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤坂信太郎，朴炫珍，田坂裕司，村井祐一
2. 発表標題 超音波パルスエコグラフィを用いた高時空間分解能を持つ気泡分布計測手法の開発
3. 学会等名 可視化情報シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 朴炫珍
2. 発表標題 壁面気液混相乱流計測のための光学的・音響的アプローチ
3. 学会等名 混相流シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村井祐一, 朴炫珍, 田坂裕司
2. 発表標題 超音波パルスエコー・ドップラー併用による混相流量計の開発
3. 学会等名 混相流シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤坂信太郎, 人見純平, 澤田航希, 朴炫珍, 田坂裕司, 村井祐一
2. 発表標題 超音波パルスエコグラフィーによる気液二相チャンネル流の高時間分解計測
3. 学会等名 機械学会北海道支部第48回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, No.192-1, pp.155-156(2019.3)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Tasaka, T.Yoshida, Y.Murai
2. 発表標題 Ultrasonic spinning rheometry; concept and algorithms
3. 学会等名 Proc. 8th ETH-HU Academic Exchange and Cooperative Research (AECor8), pp.3-3(2018.11/7-9) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N.Tiwari, Y.Tasaka, Y.Murai
2. 発表標題 CFD assisted flow visualization for rheological fluids
3. 学会等名 Proc. 8th ETH-HU Academic Exchange and Cooperative Research (AECor8), pp.6-6(2018.11/7-9) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 K.Nakamura,Y.Tasaka,Y.Murai
2 . 発表標題 Transition to turbulence in pipe flows of microbubble suspensions
3 . 学会等名 Proc. 8th ETH-HU Academic Exchange and Cooperative Research (AECor8), pp.7-7(2018.11/7-9) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T.Yoshida,Y.Tasaka,Y.Murai
2 . 発表標題 Capability assessments of ultrasonic spinning rheometry for non-Newtonian fluid
3 . 学会等名 Proc. 8th ETH-HU Academic Exchange and Cooperative Research (AECor8), pp.8-8(2018.11/7-9) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 D.Noto,J.Hitomi,H.J.Park,Y.Tasaka,Y.Murai
2 . 発表標題 A proposal of a novel flow visualization method using rheoscopic fluid
3 . 学会等名 Proc. 8th ETH-HU Academic Exchange and Cooperative Research (AECor8), pp.9-9(2018.11/7-9) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 J.Hitomi,S.Nomura,G.De Cesare,Y.Takeda,H.J.Park,Y.Tasaka,Y.Murai
2 . 発表標題 Comparison of flow behaviors between experimental turbidity currents and saline density currents combining ultrasonic and optical techniques
3 . 学会等名 Proc. 8th ETH-HU Academic Exchange and Cooperative Research (AECor8), pp.10-10(2018.11/7-9) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K.Iwasa, H.J.Park, Y.Tasaka, Y.Murai
2 . 発表標題 Interactive flows between a moving cylinder and floating particles as a 2D granular flow experiment
3 . 学会等名 Proc. 8th ETH-HU Academic Exchange and Cooperative Research (AECOR8), pp.11-11(2018.11/7-9) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 R.Li, T.Yoshida, Y.Tasaka, Y.Murai
2 . 発表標題 Ultrasonic measurement of milk products flowing in stainless steel pipe
3 . 学会等名 Proc. 8th ETH-HU Academic Exchange and Cooperative Research (AECOR8), pp.12-12(2018.11/7-9) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y.Koyama, H.J.Park, Y.Tasaka, Y.Murai
2 . 発表標題 Aerodynamic characteristics of an airfoil with a large cavity in low-Reynolds number regime
3 . 学会等名 Proc. 8th ETH-HU Academic Exchange and Cooperative Research (AECOR8), pp.13-13(2018.11/7-9) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y.Murai
2 . 発表標題 Ultrasonic scan-imaging technology for visualizing internal structures
3 . 学会等名 Proc. 8th ETH-HU Academic Exchange and Cooperative Research (AECOR8), pp.36-36(2018.11/7-9) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 李 瑞雪, 芳田泰基, 人見純平, 澤田航希, 朴 炫珍, 田坂裕司, 村井祐一, Stéphane Fischer
2. 発表標題 ステンレス管内を流れる乳製品の超音波診断
3. 学会等名 日本機械学会 第96期 流体工学部門 講演会 講演論文集, AM5-OS4-1, pp.1-3(2018.11/29-30)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田坂裕司, 芳田泰基, 朴炫珍, 村井祐一
2. 発表標題 超音波スピニングレオメトリ
3. 学会等名 日本機械学会 第96期 流体工学部門 講演会 講演論文集, AM6-OS4-2, pp.1-3(2018.11/29-30)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村井祐一
2. 発表標題 食品内部を超音波で可視化する最新技術
3. 学会等名 北海道経済連合会・一般社団法人北海道食産業総合振興機構主催ロバスト農業セミナー(2018.11.5)(招待講演)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 非接触型レオロジー物性計測装置、システム、プログラムおよび方法	発明者 田坂裕司, 芳田泰基, 村井祐一	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019 - 056493	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 非接触型レオロジー物性計測装置、システム、プログラムおよび方法	発明者 田坂裕司, 芳田泰基, 村井祐一	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2020/0132990892	出願年 2019年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 非接触型レオロジー物性計測装置、システム、プログラムおよび方法	発明者 田坂裕司, 芳田泰基, 村井祐一	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019 - 056493	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	P A R K H Y U N J I N (PARK HYUNJIN) (00793671)	北海道大学・工学研究院・助教 (10101)	
研究分担者	熊谷 一郎 (KUMAGAI ICHIRO) (50597680)	明星大学・理工学部・教授 (32685)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計2件

国際研究集会 スイス連邦工大学・北海道大学学术交流シンポジウム	開催年 2019年～2019年
国際研究集会 8th ETH-HU Academic Exchange and Cooperative Research (AECor8)	開催年 2018年～2018年

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------